

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra městského inženýrství

Diagnostika mostů a lávek

Diagnosis bridges and footbridges

Student:

Bc. Andrea Kaděrová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Ostrava 2015

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

**Prohlašuji:**

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou dřevěných mostů a lávek a především pak jejich diagnostikou. Jsou rozebrány jednotlivé diagnostické metody používané pro dřevěné konstrukce. Dále byla provedena diagnostika nové zavěšené dřevěné lávky v Příboře. V rámci výpočtu se zjišťuje využití jednotlivých prvků lávky a také vlastní frekvence lávky, která je dále porovnávána s hodnotami naměřenými během dynamické zatěžovací zkoušky.

## **Klíčová slova**

Diagnostika, most, lávka, dřevo

## **Annotation**

This diploma thesis deals with the problem of wooden bridges and footbridges. It is especially about their diagnostic. We examine particular diagnostic methods used for wooden constructions. We diagnosed the new wooden cable-stayed footbridge in Příbor. We also find out the usage of particular elements of the foot bridge and its own frequency. The frequency is compared with values measured during the dynamic stress test.

## **Keywords**

Diagnosis, bridge, footbridge, wood

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu své práce panu Ing. Romanu Fojtíkovi, Ph.D. za vedení této práce. Dále bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Antonínovi Lokajovi, Ph.D. za pomoc při hledání zdrojů a panu Ing. Davidu Mikoláškoví, Ph.D. za neocenitelnou pomoc při ladění výpočetního modelu. Velké díky patří rovněž Bc. Evě Sedláčkové za trpělivost, kamarádství a neutuchající podporu.

**Obsah**

<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Vlastnosti dřeva .....</b>	<b>14</b>
2.1 Degradace dřeva .....	15
2.1.1 Atmosférické vlivy .....	15
2.1.2 Fyzikální vlivy .....	15
2.1.3 Biologické vlivy .....	16
2.1.3.1 Dřevokazné houby .....	16
2.1.3.2. Likvidace dřevokazných hub .....	18
2.1.3.3 Dřevokazný hmyz .....	19
2.1.3.4 Likvidace dřevokazného hmyzu .....	19
2.2 Ochrana dřeva .....	20
2.2.1 Ochrana konstrukční .....	20
2.2.2 Ochrana chemická .....	20
<b>3. Mosty .....</b>	<b>22</b>
3.1 Historie dřevěných mostů .....	23
3.2 Dělení dřevěných mostů .....	24
3.2.1 Trámové mosty .....	24
3.2.2 Deskové mosty .....	24
3.2.3 Příhradové mosty .....	25
3.2.4 Obloukové mosty .....	25
3.2.5 Visuté mosty .....	26
3.2.6 Zavěšené mosty .....	28
<b>4. Diagnostika .....</b>	<b>30</b>
4.1 Vizuální prohlídka .....	30
4.2 Destruktivní zkoušky .....	30
4.3 Nedestruktivní zkoušky .....	32
4.4 Zatěžovací zkoušky .....	34
4.5 Dlouhodobý monitoring .....	35
4.6 Legislativa .....	35
<b>5. Zavěšená dřevěná lávka v Příboře .....</b>	<b>36</b>
5.1 Výpočtová část .....	37
5.1.1 Lepené lamelové dřevo .....	37
5.1.2 Zatížení .....	38
5.1.2.1 Zatížení stálé .....	38

5.1.2.1.1 Vlastní tíha.....	38
5.1.2.1.2 Mostiny.....	38
5.1.2.1.3 Zábradlí.....	39
5.1.2.2 Zatížení proměnná .....	39
5.1.2.2.1 Vítr.....	39
5.1.2.2.2 Galloping .....	44
5.1.2.2.3 Sníh .....	47
5.1.2.2.4 Zatížení davem lidí .....	47
5.1.2.2.5 Vodorovné zatížení .....	48
5.1.3 Model.....	49
5.1.4 Materiálové charakteristiky .....	53
5.1.5 Posouzení.....	54
5.1.5.1 Pylon.....	54
5.1.5.2 Tyčové závěsy .....	56
5.1.5.3 Ocelový příčník .....	57
5.1.5.4 Ocelové ztužidlo.....	58
5.1.5.5 Mostina .....	58
5.1.5.6 Podélník.....	60
5.1.5.7 Příčník.....	62
5.1.5.8 Vazník.....	64
5.2 Diagnostická část .....	66
5.2.1 Stav lávky v čase měření .....	66
5.2.2 Použitá čidla a jejich rozmístění .....	68
5.2.4 Průběh měření .....	69
5.3 Vyhodnocení.....	70
<b>6. Závěr .....</b>	<b>74</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>75</b>
<b>Seznam grafů .....</b>	<b>76</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>76</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>76</b>
<b>Použitá literatura.....</b>	<b>77</b>
<b>Použité normy .....</b>	<b>77</b>
<b>Použité internetové zdroje .....</b>	<b>78</b>

**Seznam použitých zkratek a symbolů**

$A$	plocha průřezu
$A_{\text{ref}}$	referenční plocha
$A_v$	smyková plocha
$C$	součinitel zatížení větrem pro mosty
$C_e$	součinitel expozice
$C_t$	tepelný součinitel
$E$	Youngův modul pružnosti
$E_{0,05}$	modul pružnosti
$F_w$	výsledná síla větru
$K$	bezrozměrný součinitel
$L$	délka rozpětí
$L_{\text{cr}}$	vzpěrná délka
$M_{\text{Ed}}$	návrhový moment
$M_{\text{Rd}}$	moment únosnosti
$N_{b,\text{Rd}}$	vzpěrná únosnost
$N_{\text{cr}}$	kritická síla
$N_{\text{Ed}}$	návrhová normálová síla
$N_{\text{Rd}}$	návrhová normálová únosnost
$I_b$	moment setrvačnosti
$I_v$	intenzita turbulence
$Re$	Reynoldsovo číslo
$Sc$	Scrutonovo číslo



$V_{ed}$	návrhová smyková síla
$W$	modul průřezu
$a_G$	součinitel nestability při gallopingu
$c_{dir}$	součinitel směru
$b_{ef}$	účinná šířka
$c_e$	součinitel expozice
$c_{f,0}$	součinitel síly pro konstrukce nebo nosné prvky bez vlivu koncového efektu
$c_0$	součinitel drsnosti
$c_{f,0}$	součinitel síly
$c_r$	součinitel orografie
$c_s$	součinitel velikosti konstrukce
$c_{season}$	součinitel ročního období
$d$	průměr prvku
$f_{m,k}$	únosnost dřeva v ohybu
$f_{t,0,k}$	únosnost dřeva v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{c,0,k}$	únosnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,k}$	únosnost dřeva v tlaku kolmo na vlákna
$f_{v,k}$	únosnost dřeva ve smyku
$f_y$	mez kluzu
$k_r$	součinitel terénu
$k$	součinitel ekvivalentní drsnosti

$k_v$	vodorovná tuhost
$k_s$	svislá tuhost
$l$	délka
$m$	hmotnost
$m_e$	ekvivalentní hmotnost na jednotku délky
$n_{1,B}$	základní vlastní ohybová frekvence kmitání konstrukce kolmo ke směru větru
$q_b$	referenční dynamický tlak
$q_{f,k}$	doporučená hodnota zatížení davem lidí
$q_p$	maximální hodnota dynamického tlaku
$s_k$	charakteristická hodnota zatížení sněhem
$v_{CG}$	počáteční rychlost gallopingu
$v_m$	střední rychlost větru
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
$v_b$	základní rychlost větru
$w$	průhyb
$z$	výška nad zemí
$z_0$	parametr drsnosti terénu
$z_{max}$	maximální výška
$z_{min}$	minimální výška
$\delta_s$	tlumení konstrukce - logaritmický dekrement útlumu
$\rho$	měrná hmotnost vzduchu

$\nu$	kinematická viskozita vzduchu
$\psi_\lambda$	součinitel koncového efektu
$\mu_i$	tvarový součinitel zatížení sněhem
$\phi$	úhel mezi lanem a vodorovnou osou
$\chi$	součinitel vzpěrnosti
$\sigma_{m,y,d}$	návrhové napětí v ohybu
$\tau_d$	návrhové napětí ve smyku

## 1. Úvod

Dřevo je jako stavební materiál využíváno od nepaměti. V minulosti bylo používáno především v geografických oblastech, kde se přirozeně vyskytovalo, což z něj dělalo dostupný materiál.

Dřevo je využíváno především pro velké množství výhod, které skýtá. Je to přírodní materiál, který splňuje v současné době stále se zvyšující požadavky na ekologičnost a obnovitelnost. K ekologickým aspektům lze počítat nízkou energetickou náročnost dřeva. Nízké jsou výrobní náklady, náklady na přepravu i montáž a to především při využití pro dané místo typického a přirozeného dřeva.

Trochu jiným aspektem ekologičnosti dřeva je využití jeho tepelně-izolačních vlastností v moderních, nízkoenergetických stavbách. Dřevo má také dobré akustické a zároveň i zvukově-izolační vlastnosti, které z něj tvoří výborný materiál pro tvorbu vnitřních obkladů.

V současné době je stále více kladen důraz na estetiku, hlavně pak při řešení architektonicky exponovaných staveb, ale také rodinných domů. Při těchto stavbách lze čerpat z tradičních způsobů využití dřeva, používaných stovky let, ale lze z něj vymyslet s použitím nových technologií spousty nových konstrukcí, tvarů a využití. A i když s příchodem nových materiálů a technologií užívání dřeva poněkud ustoupilo, dnes je opět na vzestupu.



*Obr 1. Tamedia Office Building, Zürich, Švýcarsko*

Mezi další výhody patří nízká hmotnost dřeva, která je výhodná jak při těžbě tak při samotném zpracování a konečné montáži dřevěných částí. S tím souvisí také snadná opracovatelnost a variabilita, kterou dřevo nabízí.

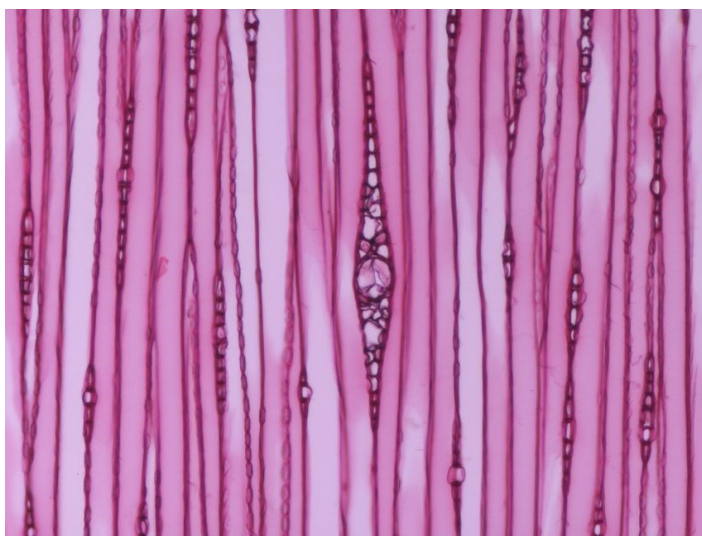
Dřevo je také trvanlivé, ale je nutno mít na paměti, že je to organický materiál a hrozí jeho napadení biologickými škůdci. Pokud je ovšem dřevo použito vhodně a případně ještě chráněno chemicky, jeho trvanlivost je velká.

Další vlastností je hořlavost. Dřevo je sice hořlavé, ale není snadno zápalné. Masivní průřezy jsou také požárně odolné, a při požáru zajistí stabilitu konstrukce po delší dobu než třeba ocel. Problémem však je, že pokud konstrukce projde požárem, je většinou nenávratně zničena. Mechanické vlastnosti dřeva pod zuhelnatělou vrstvou sice zůstanou nezměněny, ale odhořívání zmenší průměr průřezu.

Dřevo je také odjakživa používáno pro přemostování překážek nebo vodních toků. Mosty pomáhají spojovat dva břehy, silnice i lidské osudy, a staly se lidským pomocníkem už velmi dávno. Především v počátcích bylo dřevo užíváno hojně, později začal být používán i kámen, který je trvanlivější. Historie mostů a jejich dělení však budou popsány dále.

## 2. Vlastnosti dřeva

Struktura dřeva je tvořena vlákny, která jsou uspořádána v jednom směru, což ze dřeva dělá anizotropní materiál. Tyto vlákna jsou tvořena celulózą. Dále je dřevo tvořeno rozvětvenými vlákny hemicelulózy a prostorovou sítí ligninu. Vlastnosti dřeva pak ovlivňuje tloušťka složení jednotlivých vláken. To vytváří např. letní a zimní dřevo, které se projevuje ve formě letokruhů. To a také různé nepravidelnosti jako odklon vláken nebo suky zapříčiňuje nehomogenitu dřeva. Uspořádání vláken pak způsobuje rozdílné vlastnosti v hlavních třech směrech. V praxi se pak rozlišují pouze směry kolmo a rovnoběžně s vlákny.



*Obr 2. Mikroskopický tangenciální řez Borovicí lesní*

Další vlastností je hustota. Dřevo je oproti jiným materiálům výhodné v tom, že při nízké hmotnosti má vysokou pevnost. Hustota se také odvíjí od vlhkosti obsažené ve dřevě. Vlhkost se ve dřevě vyskytuje v podobě vázané vody, která se nachází ve stěnách buněk a volné vody. Vlhkost okolo 30% je bod nasycení vláken, kdy jsou veškeré buněčné stěny plně nasycené. Při vysychání nebo naopak přijímání vlhkosti dochází k sesychání nebo bobtnání dřeva, se kterým je nutno počítat. Vlastnost přijímat nebo vypouštět vlhkost je na druhou stranu výhodou a přispívá k vytvoření ideálního klimatu v dřevěných domech.

Důležitým ukazatelem je pevnost. V důsledku anizotropie je nutno rozlišovat pevnost v různých směrech. Lepší pevnostní vlastnosti má dřevo v podélném směru, v příčném směru jsou výrazně nižší a ještě se liší v tangenciálním směru, tzn. ve směru letokruhů, nebo v radiálním směru kolmo k letokruhům. S pevností souvisí také reologické změny dřeva. To dobře snáší krátkodobá nebo rázová zatížení.

## 2.1 Degradace dřeva

Dřevo je organický materiál a tak podléhá velké spoustě degradačních vlivů. Asi největším problémem je možnost biologického napadení dřeva. Dále pak dřevo ovlivňují fyzikální a také atmosférické vlivy.

### 2.1.1 Atmosférické vlivy

Mezi atmosférické příčiny degradace dřeva patří například UV záření, déšť, vlivy teploty a znečištěné ovzduší. Velkým problémem atmosférických vlivů je také to, že jich často působí více najednou. Například kombinace UV záření a působení kyslíku způsobuje chemické změny povrchu dřeva, které pak hnědne. Déšť zase způsobuje vymývání hnědé hmoty a dřevo šedne. Na druhou stranu přímé a časté vystavení intenzivnímu slunci zapříčiňuje rychlé vysychání, při kterém vznikají především na povrchu trhliny, čímž dřevo ztrácí svou pevnost a křehne.



*Obr 3. Atmosférická degradace- vymývání hnědé hmoty deštěm*

### 2.1.2 Fyzikální vlivy

Dále pak životnost dřeva ovlivňují fyzikální vlivy. Hlavním vlivem je změna vlhkosti, která má velmi nepříznivé účinky. Vlhkost dřeva ovlivňuje prostředí, ve kterém je dřevo zabudované, ale také okolní prostředí a v něm obsažená vlhkost. Ve vnitřním, suchém, chráněném prostředí vlhkost dřeva nepřekročí 18%. Se zvyšující se vlhkostí pak klesá pevnost dřeva a zvyšuje se průhyb. Při vlhkosti vyšší než 30% se už mechanické vlastnosti výrazně nemění. Další problémy, vyvolané změnou vlhkosti, jsou objemové změny- sesychání a bobtnání. To je navíc vzhledem k vlastnostem dřeva v každém směru jiné.

### 2.1.3 Biologické vlivy

Vlhkost je také faktor, který výrazně ovlivňuje biotické degradace dřeva. Je totiž jedním ze základních předpokladů pro napadení dřeva škůdci. Kromě vlhkosti je také zapotřebí přístup kyslíku, příznivá teplota a substrát. Pokud je dřevo použito v konstrukci bez závad, pak je možnost napadení nízká. Na druhou stranu u nových staveb se napadení dřeva vyskytuje prakticky v polovině případů.

Mezi biologické škůdce patří dřevokazné houby a hmyz. Dřevokazné houby lze rozdělit na parazity, živícími se dřevem pokácených stromů, a saprofity, kteří se živí odumřelým dřevem. Další členění je pak na houby celulózovorní a ligninovorní. Houby celulózovorní se projevují kostkovitým rozpadáváním dřeva, zhnědnutím a zkřehnutím. Ligninovorní houby se projevují dírkami a dutinami, které jsou viditelné i pouhým okem.

#### 2.1.3.1 Dřevokazné houby

Největším celulózovorním škůdcem je dřevomorka domácí. Ta je schopná konstrukci úplně zničit. Vyskytuje se ve všech místech a na všech typech konstrukcí. Pro svůj vývoj potřebuje vlhkost jen v počátcích, dále si ji už produkuje sama. Množí se výtrusy, ale i částmi svého podhoubí, které může být ve dřevu, v násypu, ale také ve zdivu. Dalším škůdcem je koniofora sklepní. Na stavbách se často vyskytuje právě společně s dřevomorkou. Vyskytuje se na dřevě s trvale vyšší vlhkostí. Spolu s dřevomorkou a konioforou se může vyskytovat také čechratka sklepní. Nachází se v budovách, ale například také v dolech. Sama většinou nezpůsobuje větší škody.



*Obr 4. Koniofora sklepní*



Trámovka plotní nebo trámovka jedlová napadají hlavně jehličnaté dřevo. Rozrůstají se především uvnitř trámů. Znamená to, že se trám na první pohled jeví zcela v pořádku a přitom je uvnitř zcela vyhnílý. Trámovka je závislá na vlhkosti. V případě, že zamezíme přístupu vlhkosti, houba odumře. Stejně jako trámovka i outkovka řadová napadá převážně jehličnaté dřevo. Způsobuje intenzivní hnědou hnilobu. Spolu s dřevomorkou a konioforou se v budovách nebo dolech může vyskytovat i čechratka sklepní. Sama většinou nezpůsobuje velké škody.



*Obr 5. Plodnice Trámovky plotní*

Mezi ligninovorní houby potom patří václavka obecná, troudnatec kopitovitý nebo pevník chlupatý. Václavka obecná je houba, která je nebezpečným škůdcem lesů. Může vystupovat jako saprofyt a napadat odumřelé dřevo, ale také jako parazit na živých stromech. Způsobuje nemoci kořenů stromů a napadá především smrk a borovici. Vyskytuje se především na podzim.



*Obr 6. Václavka obecná*

Další houbou je troudnatec kopitovitý, známý jako choroš. Vyskytuje se jako saprofyt i parazit. Do stromů proniká všemi druhy poranění a popraskání povrchu kmene a způsobuje silnou bílou hnilobu. Napadené dřevo se pak rozpadá. Troudnatec roste během celého roku. Napadá především listnaté dřeviny, hlavně buky a břízy. Stejně tak listnaté dřeviny napadá i pevník chlupatý. Stejně jako troudnatec i pevník napadá dřevinu v místě větších poranění nebo řezů. Také způsobuje bílou hnilobu.



*Obr 7. Troudnatec kopitovitý*

#### **2.1.3.2 Likvidace dřevokazných hub**

Při likvidaci dřevokazných hub je velmi důležité zamezit přístupu vlhkosti. Dále je nutno odstranit napadané konstrukce i s bezpečnostním přesahem. Při sanaci je nutno chovat se opatrně k odstraněnému materiálu, protože obsahuje podhoubí, které by se mohlo dále šířit. Dřevomorka může prorůst také do zdiva, takže je nutno veškeré napadené části očistit a chemicky ošetřit. Po dokončení všech prací se dřevěná konstrukce chemicky ošetří a nové části naimpregnují.

### 2.1.3.3 Dřevokazný hmyz

Druhým biologickým problémem je dřevokazný hmyz. Většinou napadá dřevo společně s houbami. Může ve dřevě přežívat i po více generací a způsobit tak velkou destrukci. Samičky kladou vajíčka, ze kterých se během několika dní vylíhnou larvy, které okamžitě začínají vytvářet chodbičky. Ve stádiu larvy hmyz zůstane několik let. Poté se zakuklí a vyvine v dospělého brouka. Ten má jediný úkol, a sice založit novou generaci.

Jedním z hlavních škůdců je tesařík krovový. Napadá především dřeva o větších průměrech - menší průměry velkým larvám tesaříka nevyhovují. Dospělí jedinci se někdy mezi květnem a srpnem vyrojí a díky tomu, že umí dobře létat, začnou napadat dřevo v nejbližším okolí. Jeho vývojový cyklus trvá 3- 5 let. Na rozdíl od něj, červotoč proužkovaný se vyvíjí pouze 1- 2 roky. Má oproti tesaříkovi menší larvy a tak napadá i dřeva menších průměrů, ale i velké konstrukce, nábytek a veškeré výrobky ze dřeva. Dospělí jedinci nejsou příliš aktivní a často novou generaci zakládají ve stejném dřevě, ve kterém sami žili. Mezi další zástupce patří červotoč umrlčí, červotoč kostkovaný, pilořitka nebo i hrbohlav parketový.



*Obr 8. Larva tesaříka krovového*

### 2.1.3.4 Likvidace dřevokazného hmyzu

Pokud už dojde k napadení dřeva dřevokazným hmyzem, lze ho odstranit několika způsoby. Stejně jako u některých dřevokazných hub i u hmyzu pomáhá zahřátí dřeva, které způsobí změnu v bílkovinách hmyzu a zahubí ho ve všech vývojových stádiích. Dalším způsobem hubení je elektromagnetické záření, které způsobí změnu skupenství vody a její odpařování. Zároveň se tím i zvýší teplota. Pro záchranu menších dřevěných předmětů se používá ozařování ultrafialovým zářením, které hmyz zahubí. Záření však účinkuje pouze do malých hloubek. Asi nejrozšířenějším způsobem hubení hmyzu je pak použití chemických prostředků.

## 2.2 Ochrana dřeva

Ochrana dřeva je velmi důležitým faktorem pro životnost dřeva. Správné zacházení se dřevem, případně jeho chemická ochrana dokáže výrazně prodloužit jeho životnost

### 2.2.1 Ochrana konstrukční

Velmi důležité je napadení dřeva předcházet a dřevo ošetřit ještě před instalací. Základním způsobem ochrany je ochrana konstrukční. Základní je suchá ochrana, což znamená používat dřevo jen v pro dřevo vhodných podmínkách. Takto se dá dřevo udržovat při vlhkosti, která je nevhodná pro napadení biologickými škůdci. Také je dřevo potřeba užívat v místech kde nehrozí kondenzace v konstrukcích, zatékání nebo třeba vztlínání vlhkosti. Také má být zajištěno dostatečné větrání, aby mohla konstrukce v případě nehody dobře vysychat.

### 2.2.2 Ochrana chemická

Další možností je pak chemická ochrana dřeva. Ta je pouze doplňkem k ochraně konstrukční a nemůže ji nahradit. Může materiál chránit před dřevokaznými houbami a hmyzem, požárem, UV zářením nebo třeba mechanickému opotřebování. Může se jednat o nátěr, postřik nebo impregnaci, dřevo může být máčeno, ponořováno nebo vystaveno tlakové impregnaci. Dle hloubky se rozlišuje ochrana povrchová, do 3 mm hloubky, polohluboká od 3 mm do 6 mm a hloubková, která proniká do hloubky větší než 6 mm.



*Obr 9. Tlaková impregnace dřeva*

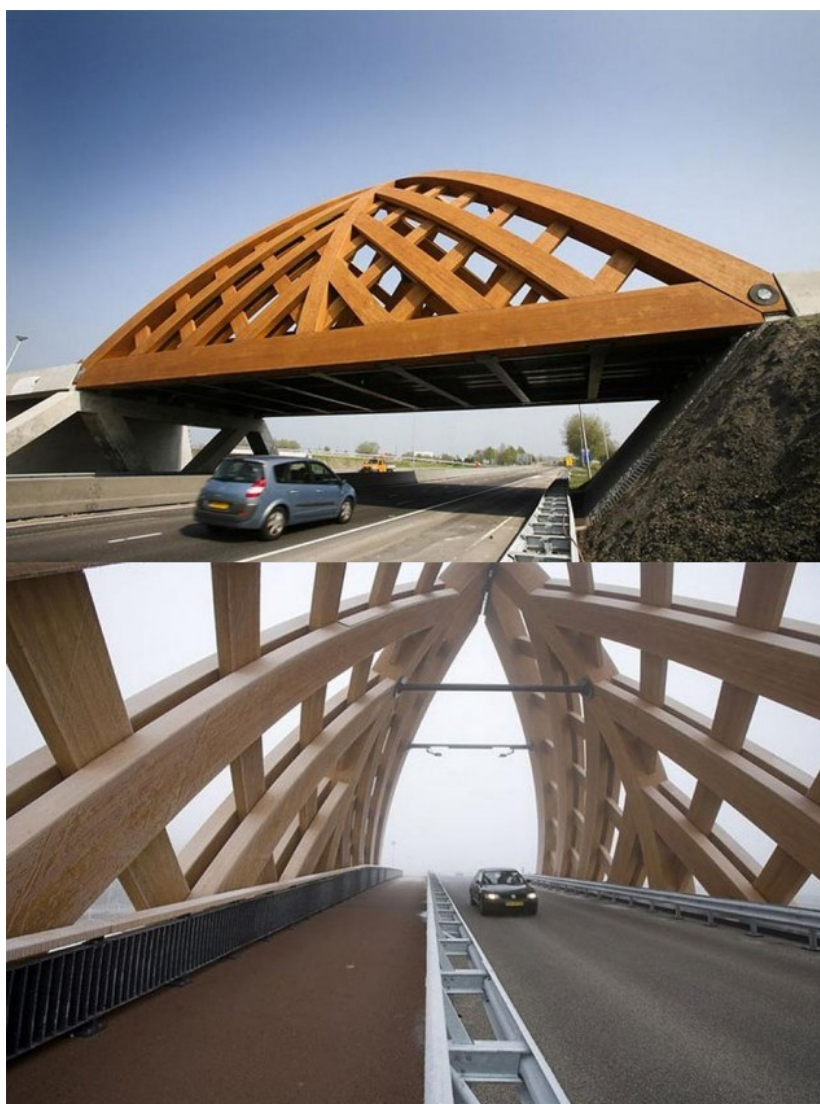
Pro návrh preventivní ochrany je vždy důležité zhodnotit, jaké napadení dané konstrukci hrozí a o jaké dřevo se jedná. Pokud je použité dřevo samo o sobě dostatečně odolné vůči předpokládanému napadení, není potřeba další chemické ochrany. A právě proto je velmi důležité vybrat pro danou konstrukci optimální druh dřeva. Dalším ukazatelem pro výběr ochrany je trvanlivost, které chceme dosáhnout. Nesmí se zapomínat také na to, že chemická ochrana nesmí ohrozit jak uživatele stavby tak také životní prostředí. Je ji proto vždy nutné vybírat podle konstrukce a místa, na kterém bude použita.

Nejčastějšími způsoby ochrany jsou fungicidy a insekticidy, které materiál chrání proti napadení dřevokaznými houbami nebo hmyzem. Často se používají také různé kombinace těchto prostředků. Další možnosti jsou nátěry, které v případě vzniku požáru začnou pění a zamezí tak přístup ohně ke dřevu, nebo přímo zhoršují zápalnost dřeva.



### 3. Mosty

Mosty slouží k překonání různých překážek - komunikací, vodních toků nebo třeba terénních nerovností. Návrh mostu ovlivňuje velké množství faktorů, jako například délka, která je potřebná přemostit, prostředí, ve kterém se bude nacházet, architektonický záměr atd. Velmi důležitý je výběr materiálu. V minulosti se dělaly převážně mosty dřevěné a zděné a to ať už z cihel či kamene. V dnešní době převažuje beton nebo ocel a jejich kombinace. Můžeme tedy najít mosty železobetonové, z předpjatého betonu nebo třeba spřažené ocelobetonové. Výběr materiálu ovlivňuje také složení dopravy, kterou má daný most převádět. Může se jednat o mosty pozemních komunikací nebo lávky pro pěší, drážní mosty nebo jejich kombinace. Posledním druhem jsou mosty průmyslové, které převádí různá potrubí nebo třeba kabely.



*Obr 10. Dřevěný most, Nizozemsko*

### 3.1. Historie dřevěných mostů

Už odedávna lidé hledali způsoby jak překonat řeky nebo těžký terén. A dřevo bylo jedním z nejpříhodnějších a nejstarších materiálů pro tyto stavby. Mezi první mosty lze vlastně počítat stromy padlé přes údolí nebo řeku. Později lidé začali tyto přechody budovat cíleně na předem vybraných místech a to už 1500 let před naším letopočtem. V Asii se zase inspirovali u zvířat a pomocí spojených lián a dřeva začali budovat zavěšené mosty.

Později s vývojem nástrojů a postupů nutných k opracovávání dřeva se začaly rozvíjet také mostní konstrukce. Budovaly se konstrukce širší a také na větší rozpětí. Mezi první evropské dřevěné mosty patří mosty postavené ve Švýcarsku v dobách Římské říše. Později se stavělo stále více mostů jak v Evropě tak také v Asii, ale dřevo pomalu začal vytlačovat kámen. Byl pevnější, trvalejší a lépe odolával atmosférickým vlivům. Dřevo se však používalo i nadále. Bylo jednodušší na opracování, lehčí pro přepravu a umožňovalo různé kombinace - kombinaci s kamenem nebo třeba hlínou.

Jedním z nejznámějších dřevěných mostů středověku byl most přes jezero Zürich, postavený ve 14. století. Byl 4 metry široký, 1450 metrů dlouhý a sloužil déle než 500 let. V současnosti nejstarší dřevěný most Evropy se nachází v Lucernu ve Švýcarsku.

V dnešní době se staví především menší dřevěné mosty a lávky. A existují i poněkud raritní formy dřevěných mostů. Jedním z nich je stavět z živých stromů, konkrétně používat jejich kořeny. Právě touto metodou tvarování kořenů živých stromů, společně s použitím hlíny a kamenů, byl vytvořen během dvaceti let unikátní most v Indii.



*Obr 11. Most vytvořený z kořenu stromů, hlíny a kamenů- Indie*

### **3.2.Dělení dřevěných mostů**

Dřevěné mosty se dělí na trémové, deskové, příhradové, obloukové a visuté. Mohou být sestaveny z řeziva, lepených lamelových nosníků nebo vrstvených dýhových lepených trámů.

#### **3.2.1. Trémové mosty**

Nejjednodušším typem je most z kulatiny, která se jen podélně naskládá vedle sebe a spojí se ocelovými lany. Další kulatina je pak připojena uprostřed rozpětí napříč pro lepší roznos zatížení. Vozovka je pak tvořena buďto prkny, nebo udusanou hlinou či kameny. Rozpon těchto mostů bývá nejčastěji mezi 6-18 metry a je omezen délkou kulatiny. Tento typ mostů je většinou stavěn jako dočasný a proto není nijak chemicky ošetřen. Jeho životnost je do dvaceti let. Dalším typem je most z klasických trámů. Ty jsou široké zhruba 0,15 m a vysoké 0,35 m a mezi ně jsou vloženy příčné výztuhy. Nejčastěji se používají při délce do 9 metrů. Delší mosty se konstruují s mezilehlou podporou. Tento typ mostů je ekonomický, lehce proveditelný a hodí se do míst, kde není požadováno velké rozpětí. Tyto mosty mají životnost okolo 40 let.

Nové technologie přinesly také nové inovace. Začaly se využívat nosníky z lepeného lamelového dřeva. Ty jsou vyrobeny z tenkých desek, které jsou po šířce lepené k sobě. Lze je vyrobit v libovolných délkách, omezující je snad jen nutnost transportu na stavbu. Většinou se využívají pro rozpětí 6 až 25 metrů, ale lze jimi překlenout vzdálenost i 45 metrů. Výhodou je, že je kompletně prefabrikovaný, takže na stavbě už nemusí být nijak řezán nebo vrtán, což prodlužuje jeho životnost. Je chemicky ošetřen hned po vyrobení a má životnost až 50 let.

#### **3.2.2. Deskové mosty**

Deskové mosty jsou vyrobeny z lepených lamelových nosníků nebo lepených dýh a jsou umístěny podélně mezi podpory. Mezi ně jsou pak umístěny příčné nosníky, které zajišťují roznos velkých zatížení a malé průhyby bez nutnosti dalších podpor. Příčné trámy jsou spojeny s vozovkou, aby tak dopomohly lepšímu roznosu zatížení. Tento typ mostu lze použít pro rozpětí až 11 metrů a vzhledem k nízké konstrukci se dá použít v místech s malou světlou výškou.



### 3.2.3. Příhradové mosty

Dalším typem konstrukcí jsou příhrady. Jsou to konstrukce sestavené z rovných nosníků do sérií trojúhelníků. Mosty většinou sestávají ze dvou příhradových nosníků, mezi nimiž je umístěna mostovka. Ta může být umístěna na příhradách, mezi nimi jako mezilehlá mostovka, nebo na spodním lici příhradových nosníků. To záleží především na volném prostoru pod mostem, protože příhradové konstrukce mají vysokou konstrukční výšku. Příhradovou konstrukcí lze překlenout rozpětí až 75 metrů. Příhradové konstrukce se dají použít také jako opěry a to pokud je potřeba přemostit velké rozpětí a není potřeba zachovat prostor pod ním. V takovém případě by stavba jiné konstrukce na velké rozpětí byla neekonomická.

### 3.2.4. Obloukové mosty

Další možností jsou obloukové mosty. V dnešní době se vyrábějí především z lepeného lamelového dřeva. Takto lze vyrobit buďto obloukové nebo parabolické oblouky s rozponem až 60 metrů. Používají se většinou jen v případě, že jiné konstrukce nejsou svým rozponem vyhovující. Oblouky se dělají buďto dvojklobové, především pro menší rozpon okolo 25 metrů, nebo tříklobové pro větší rozpětí a automobilovou dopravu.



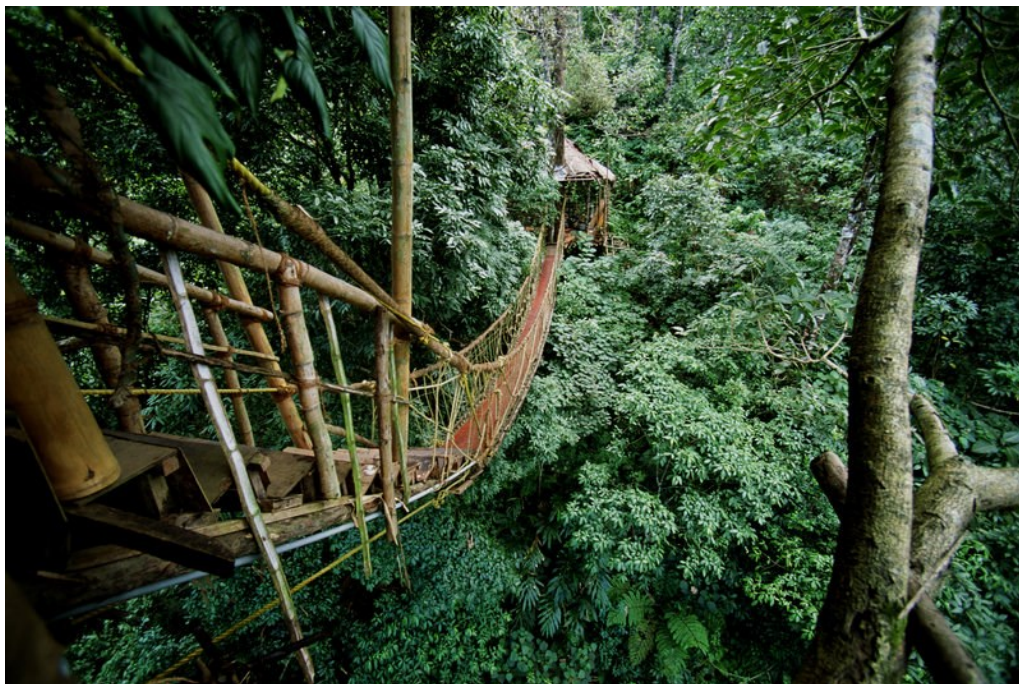
*Obr 12. Obloukový most, Stožec*

### 3.2.5. Visuté mosty

Největší rozpětí pak překonávají mosty visuté. Ty sestávají z dřevěné mostovky zavěšené na ocelových kabelech, které jsou zavěšené na pylonech. Tato konstrukce dokáže překlenout rozpětí až 150 metrů. Používá se především tam, kde je rozpon veliký a jiné konstrukce by byly neekonomické, nebo by vyžadovaly mezilehlou podporu. Vzhledem k dynamickým vlastnostem této konstrukce se používá především pro stezky pro pěší a cyklisty.

Hlavním konstrukčním prvkem tohoto typu mostu je lano, které je volně zavěšeno a na koncích pevně ukotveno. Na tomto laně je poté soustavou kratších svislých lan nebo tyčí zavěšena mostovka. Lana musí být dobře ukotvena, protože veškeré zatížení se pak přenáší do těchto lan a mění jejich napětí.

Konstrukce visutého mostu vyplývá z jednoduchého visutého mostu, který vznikl již ve středověku. Jednalo se o dvě lana, vytvořené z trávy nebo lián, které jsou zavěšena např. nad údolím. Mostovka je pak na těchto lanech zavěšena a kopíruje jejich tvar. Tento obloukový tvar a také dynamika tohoto mostu není vhodná pro dnešní dopravní prostředky, dále se však navrhuje např. na turistických trasách.



*Obr 13. Visutý most v Indii*

Novějším typem visutého mostu je ten se zavěšenou mostovkou. Lano je volně nataženo mezi dva pylony a na koncích pevně zakotveno. Na něm je pak pověšena mostovka, která může být přímá nebo lehce nadvýšená. Tento konstrukční systém je vhodný také pro dopravu. Nemá však potřebnou tuhost k převádění železniční dopravy. Menší tuhost je na druhou stranu výhodou při zemětřesení, které by těžší a tužší mosty nemusely zvládnout.

Velkou výhodou tohoto konstrukčního řešení je velké rozpětí, kterého lze dosáhnout. Další výhodou pak je, že během výstavby není potřeba přístup zespoda. To je výhodné při stavbách nad nepřístupným terénem, nebo vodní překážkou, na které probíhá lodní doprava.

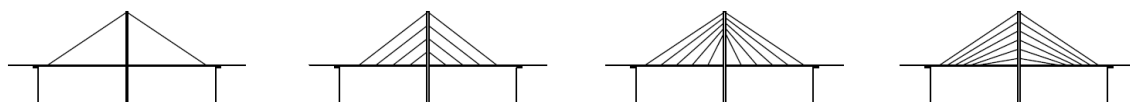


*Obr 14. Dřevěný visutý most, Arkansas*



### 3.2.6. Zavěšené mosty

Zavěšené mosty jsou výborné pro rozpětí o něco kratší než visuté mosty. Hlavním nosným prvkem jsou lana, která přímo nesou konstrukci mostovky. Tato lana jsou připevněna k jednomu nebo více pylonům. Ten může být v příčném řezu jeden a celá mostovka je pak vynášena jednou řadou lan, nebo mohou být dva po stranách mostovky a tu pak vynášejí dvě řady lan. Tato lana mohou být uspořádána čtyřmi způsoby- jednoduché lano, harfa tzn. lana jsou rovnoběžná, dále tvar větráku, kdy jsou lana na pylonu zakotvena blízko sebe a směrem k mostovce se rozcházejí a ve tvaru hvězdy, kdy jsou naopak lana na pylonu zakotvena dále od sebe a na mostovce jsou naopak zakotvena blízko u sebe. V podélném směru může být most vynášen jedním nebo více pylony.



*Obr 15. Schéma mostů-mono, harfa, ventilátor, hvězda*



*Obr 16. Most přes Korintský záliv (systém ventilátor) , Řecko*

Nevýhodou oproti visutému mostu je to, že závěsy jsou k mostovce připojeny šikmo a vytváří tak v mostovce dodatečné horizontální síly. Na druhou stranu má tento systém tu výhodu, že pokud jdou závěsy z pylonu na obě strany, tak se zatížení v pylonu vyrovnává a ten tak nemá tendenci se naklánět.

Tento typ mostu má také vyšší tuhost než most visutý a odolává tak lépe dynamickému zatížení. Lze také nalézt zavěšené mosty s lany jdoucími z pylonu jen na jednu stranu. Takovýto pylon pak musí odolat velkým ohybovým momentům, které vytváří lana jdoucí jen z jedné strany



*Obr 17. Lávka Samota*

## **4. Diagnostika**

Diagnostika je soubor jednotlivých metod, které slouží pro zjištění technického stavu již realizované konstrukce. Jedná se o kolotoč shromažďování a vyhodnocování informací o aktuálním stavu dané konstrukce. Primárními úkoly diagnostiky je shromažďovat podklady, zjišťovat aktuální stav konstrukcí, vyhodnocovat příčiny degradace a možnosti případných rekonstrukcí a oprav. Hlavním cílem je zjišťovat spolehlivost konstrukce a její zbytkovou životnost.

### **4.1 Vizuální prohlídka**

Základní diagnostickou metodou je vizuální prohlídka. Před vizuální prohlídkou by měl být proveden průzkum. Měly by se zajistit veškeré možné informace o konstrukci, historii všech úprav a přestaveb, veškeré změny v okolní zástavbě, které by mohly mít vliv na zkoumanou konstrukci a všechny mimořádné události, které mohly nějakým způsobem tuto stavbu ovlivnit jako například povodně nebo požár. Následně by měla proběhnout prohlídka konstrukce, která slouží k ověření informací zjištěných z dokumentace. Zkoumá skutečné rozměry prvků, měla by dokumentovat řešení detailů, použité materiály atd. U dřevěných konstrukcí se snažíme mimo rozměrů konstrukcí a materiálových charakteristik zjistit také případnou degradaci prvků a možné napadení biologickými škůdci. Při prohlídce se zkoumá povrchová struktura dřeva, případné narušení a jeho rozsah.

Diagnostické metody lze rozdělit na destruktivní a nedestruktivní. Destruktivní zkoušky nejsou příliš výhodné z důvodu narušení konstrukce.

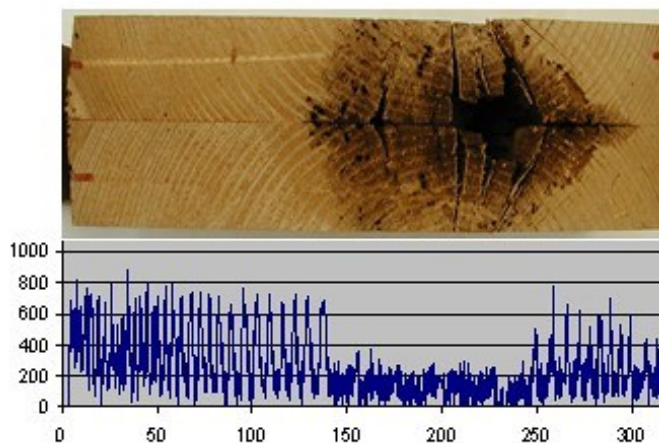
### **4.2 Destruktivní zkoušky**

Mezi destruktivní metody lze zařadit například odporovou vrtačku, Pilodyn, Baumanovo kladívko nebo zkoušky radiálních vývrtů.

Odporová vrtačka pracuje na principu zaznamenávání energie, která je potřebná pro udržení konstantní rychlosti vrtání do materiálu v přímém radiálním směru. Menší odpor je způsoben menší hustotou dřeva a případnými trhlinami, dutinami a různými typy poškození. Ve chvíli kdy vrtačka na takové to poškozené místo narazí, potřebuje menší energii na provrtání tohoto místa. Tato spotřeba energie se projeví na grafu - dendrogramu, který zaznamenává odpor vrtání po šířce zkoumané konstrukce. Velkou výhodou je, že při pohledu

na graf lze okamžitě vyčíst, že průřez je nějakým způsobem poškozen a poskytuje přehled o celé vnitřní struktuře prvku v daném místě.

Tato zkouška je vhodná pouze pro radiální směr vrtání, protože při jiném směru má vrták tendenci stáčet se do zón měkčího jarního dřeva. To pak nepříznivě ovlivňuje naměřené výsledky. Nevýhodou je také to, že vrtání způsobuje větší destrukci dřeva, obzvláště při opakovaném vrtání.



*Obr. 18. Záznam dendrogramu vedle řezu zkoumaným průřezem*

Podobnou možností měření je přístroj Pilodyn. Ten vystřeluje do dřeva trn  $\varnothing$  2,5mm konstantní silou a následně je zjištěna hloubka průniku, kterou opět ovlivňuje hustota dřeva a množství a velikost případného porušení například dřevokaznými houbami nebo hmyzem. Provedením tohoto měření na různých místech zkoušeného prvku lze přesně vymezit poškozenou oblast. Z hloubky vniku lze také stanovit pevnost vzorku v daném místě. Tento způsob testování je výhodný v tom, že způsobí minimální porušení zkoušeného vzorku a je obzvláště výhodné při poškození měkkou hnilobou, která se nachází především na povrchu prvku. Často se také používá jako doplněk ultrazvukových zkoušek. Nevýhodou je, že trn je zaražen do hloubky maximálně 40mm a odhalíme tak pouze vlastnosti při povrchu. Její výsledky jsou také lokální a nevypovídají o vlastnostech celého prvku. Pro zjištění přesnějších vlastností prvku musí být provedeno větší množství měření, které znamená větší poškození prvku a také časovou náročnost. I toto měření nepříznivě ovlivňuje vlhkost.

Další možností je Baumanovo kladívko, které pomocí rázu přes pružinu s definovanou tuhostí vtlačí do zkoušeného prvku kuličku. Opět se zde měří hloubka vtisku a energie, která je k tomuto vtlačení potřebná.

Další možností je zkoušení radiálních vývrtů. Vzorek je odebírán speciálním vrtákem takovou rychlostí, aby nebyl porušen odebíraný vzorek. Vrták musí být ostrý a čistý, aby nedocházelo k zašpinění vzorku a znemožnění vizuálního hodnocení. Průměr tohoto prvku má být 5mm a délka pak minimálně 20mm. Tato zkouška spočívá ve vyvrtání části prvku a jeho následnému zatěžování tlakem ve směru vláken až do porušení. Vývrt se umístí do čelistí, které umožní jeho zatížení kolmo na osu vývrtu. Pomocí této metody lze zjistit fyzikální, mechanické i pevnostní charakteristiky dřeva. S její pomocí je možno zjistit modul pružnosti, hustotu, pevnost nebo třeba vlhkost. Tato metoda stanovuje tyto vlastnosti s velkou přesností. Na vzorcích je dále možno zkoumat napadení biologickými škůdci, hodnocení penetrace ochranných látek atd. Nevýhodou je nutnost zajistit vrtání v čistě radiálním směru. Dále pak výsledky z jednoho vývrtu není možno aplikovat na celý prvek a je nutno provést více vývrtů, což znamená větší poškození prvku.



*Obr 19. Detail radiálního vrtání*

#### **4.3 Nedestruktivní zkoušky**

Naopak mezi nedestruktivní zkoušky patří ultrazvukové a rentgenové přístroje, vlhkoměry, endoskopy a mikroskopy.

Jedním ze způsobů měření je ultrazvuk. Pomocí přístroje jsou generovány impulsy z intervalu 50 až 20 000 Hz. Tyto vlny prochází průřezem od přístroje k přijímači. Tímto způsobem podle impulsů, které průřezem projdou a také podle doby, za kterou projdou lze určit, že se v daném místě nacházejí nějaké vady, které se nacházejí kolmo na směr průchodu vln. Také se měří rychlost, s jakou tyto vlny průřezem projdou. Z této rychlosti a také objemové hmotnosti daného dřeva lze poté dopočítat dynamický modul pružnosti. Rychlost je však citlivá na orientaci vláken, kde v podélném směru je až pětikrát vyšší, ale také na vlhkost



dřeva. Výhodou tohoto měření je hodnocení celkového stavu prvku, přitom však prvek nijak neporuší. Další výhodou je, že výsledky lze zjistit okamžitě a měření pak podle potřeby opakovat nebo upravovat. Nevýhodou je snižování přesnosti u větších profilů, velký vliv teploty a vlhkosti a také složitější vyhodnocování výsledků vzhledem k variabilitě materiálu.

Další metodou je rentgenové prozařování prvku. Tato metoda využívá rentgenové nebo gama záření pro průchod materiálem a zjišťuje objemové defekty materiálu. V místě defektu dochází k oslabení záření, které se poté projeví na detektoru.

Dalším důležitým měřením je měření vlhkosti. Vlhkost přispívá k biologickému napadení dřeva a jeho degradaci. Nejčastěji se pro měření vlhkosti používají elektrické vlhkoměry. Ty měří některou z elektrických veličin dřeva, která je právě vlhkostí ovlivněna. Touto veličinou může být měrný odpor nebo například měrná vodivost.

Konstrukce lze zkoumat také pomocí endoskopů nebo mikroskopů. Endoskopy jsou přístroje s kamerou a světelným zdrojem, které umožňují provést vizuální prohlídku i na místech, které jsou nepřístupné nebo zabudované v konstrukci. Flexibilní endoskopy jsou rovněž ohebné a lze s nimi prohlédnout i vzdálená a těžce dostupná místa. Mikroskopy se dají naopak zkoumat buďto povrchy dřeva, velikost trhlin nebo také zkoumat vzorky odebrané z daného prvku. Ve vzorcích je možné zjistit stupeň poškození a také možný výskyt biologických škůdců a jejich identifikace.



*Obr 20. Ultrazvukové vyšetřování přítomnosti trhlin*

#### 4.4 Zatěžovací zkoušky

Součástí diagnostických metod jsou také zatěžovací zkoušky. Ty mohou být buďto statické nebo dynamické. U statické zatěžovací zkoušky má pohyb zatížení buď žádné, nebo zanedbatelné účinky zrychlení a i změna velikosti zatížení je pomalá. Jako zatížení se používá například stojící vozidlo odpovídající velikosti, nebo pro lávky pro pěší například nádoba naplněná vodou. Toto zatěžování je běžné hlavně pro pozemní stavby a vyvoluje především statické účinky. Při dynamickém zatěžování se mění velikost i poloha zatížení a vyvolává tak zrychlení konstrukce, jehož setrvačnost nelze zanedbat. Pro vyvolání zatížení se používají budiče harmonické síly, pohyb vozidla nebo třeba skupina pohybujících se osob. Tato zkouška se uplatní především v místech, kde působí nárazový vítr, zatížení od točivých strojů a další dynamické zatížení.

Tyto zkoušky se provádějí pro ověření výpočtových modelů, pro posouzení spolehlivosti, pro ověření funkčnosti při statickém nebo dynamickém zatížení a také pro ověření shody návrhu a provedení konstrukce. Nejdůležitějším požadavkem při provádění zatěžovacích zkoušek konstrukcí je, že nesmí být ovlivněna požadovaná únosnost, použitelnost ani trvanlivost mostu - nesmí být způsobeny žádné škody na konstrukci. V laboratořích se také provádějí zkoušky až do dosažení únosnosti. Zkoušky se mohou provádět na modelech konstrukcí v laboratoři, na stavebních dílcích ve zkušebnách, nebo přímo v terénu na stavebních konstrukcích.



*Obr 21. Provádění dynamické zatěžovací zkoušky*

#### **4.5 Dlouhodobý monitoring**

U dřevěných konstrukcí je hlavním sledovaným faktorem napadení biologickými škůdci. Dále jsou problémem také povětrnostní vlivy. Některé degradace nejsou přímo viditelné a projeví se pouze deformací mostu. V těchto případech je také velmi důležité sledovat vlhkost konstrukce. Z toho důvodu je ideální dlouhodobý monitoring, který danou konstrukci sleduje v delším časovém horizontu. Při monitoringu lze také lehce poznat veškeré deformace vzniklé v důsledku dopravy nebo neočekávaných situací. Pro visuté a zavěšené konstrukce je také výhodný pro sledování sil v závěsných lanech.

#### **4.6 Legislativa**

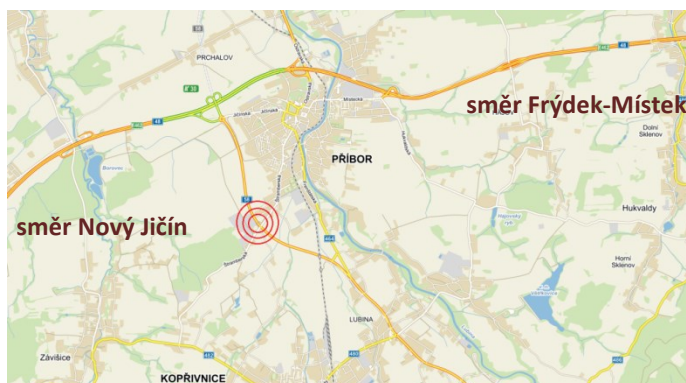
Základním dokumentem při diagnostice je norma ČSN 73 6221- Prohlídky mostů pozemních komunikací. Tento předpis určuje podmínky a požadavky na prohlídky mostních konstrukcí. Dále pak ČSN 73 2030- Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí, společná ustanovení. Tato norma se používá především pro provádění zkoušek do dosažení únosnosti konstrukce a pro zkoušky nezabudovaných mostních dílců a částí ve zkušebně.

Další normou je ČSN 73 6209+Z1- Zatěžovací zkoušky mostů. Toto je dokument, který jsme využívali nejvíce pro naše měření. S jeho pomocí byly vytvořeny protokoly pro měření a také kostry a obsah veškerých zpráv z měření.

Dalším důležitým dokumentem je také ČSN ISO 13822 - Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. Tento předpis hodnotí a ověřuje spolehlivost, poskytuje pokyny pro analýzu konstrukcí, hodnocení stávajících konstrukcí a pro zjištění základních veličin.

## 5. Zavěšená dřevěná lávka v Příboře

Jedná se o lávku na cyklostezce č. 6002 přemostující kolmo silnici I/58. Je to zavěšená lávka o dvou polích s délkou přemostění 42m. Lávka je konstrukcí trvalou a nepohyblivou. Je to konstrukce směrově přímá, nadvýšená do tvaru oblouku.



Obr 22. Umístění konstrukce

Hlavní nosnou konstrukci tvoří dva parapetní nosníky z lepeného lamelového dřeva třídy GL28h, které mají tvar oblouku a jsou složeny ze tří montážních dílů. Kolmo na ně jsou umístěny příčníky z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h, které se nacházejí po dvou metrech. Každý čtvrtý příčník je pak ocelový z oceli jakosti S355J2+N. Na příčnicích jsou umístěny tři podélníky opět z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h. Na nich jsou pak uloženy dubové trámy, které nejsou uloženy na sraz a umožňují tak odtok vody.

Celá mostovka je na každé straně zavěšena na šesti ocelových lanech třídy minimálně S460. Ty jsou kotveny právě k ocelovým příčnicům a zavěšeny jsou na ocelových pylonech z oceli třídy S355K2+N. Založení je řešeno jako hlubinné na mikropilotách. Další prvky spodní stavby jsou železobetonové z třídy betonu 30/37 a vyztuženy betonářskou výztuží B500B.



Obr 23. Zavěšená dřevěná lávka v Příboře

## 5.1 Výpočtová část

Celá tato část se zabývá posouzením jednotlivých prvků lávky a vytvořením výpočtového modelu v program Scia Engineer, s jehož pomocí budou vypočteny vlastní frekvence lávky, které následně budou porovnány s hodnotami získanými během měření.

### 5.1.1 Lepené lamelové dřevo

Tento typ dřeva vzniká slepováním minimálně tří lamel z masivního dřeva, nejčastěji smrku nebo modřínu. Pro posudek je brán jako celistvý profil. Právě díky lepení lamel má tento průřez vyšší pevnost vzhledem ke své hmotnosti a je možno ho používat na velká rozpětí např. v různých halách, tělocvičnách, průmyslových budovách atd. Je tvarově stálé a má vyšší odolnost vůči vzniku trhlin. Velkou výhodou je také to, že lze vyrobit nosníky různých tvarů a délek, které lze přesně opracovat na CNC strojích.



*Obr 24. Lepené lamelové dřevo*

## 5.1.2 Zatížení

V této části budou vypočtena zatížení, kterými je následně zatížen výpočtový model.

### 5.1.2.1 Zatížení stálé

Jako první je řešeno zatížení stálé.

#### 5.1.2.1.1 Vlastní tíha

- hodnota vlastní tíhy je generovaná programem SCIA Engineer 2015

#### 5.1.2.1.2 Mostiny

- jedná se o mostiny z dubového dřeva třídy D35
- profil 70x70mm
- objemová tíha  $8,5 \text{ kN/m}^3$

Charakteristická hodnota stálého zatížení

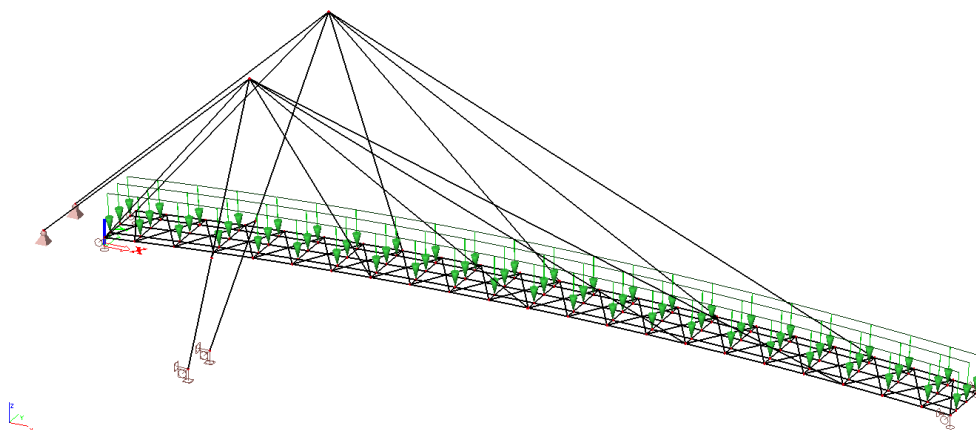
$$g_k = 0,07 \cdot 8,5 = 0,595 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení na krajní podélník

$$g_{k,1} = 0,595 \cdot 0,99 = 0,589 \text{ kN/m}$$

Zatížení na vnitřní podélník

$$g_{k,2} = 0,595 \cdot 1,02 = 0,607 \text{ kN/m}$$

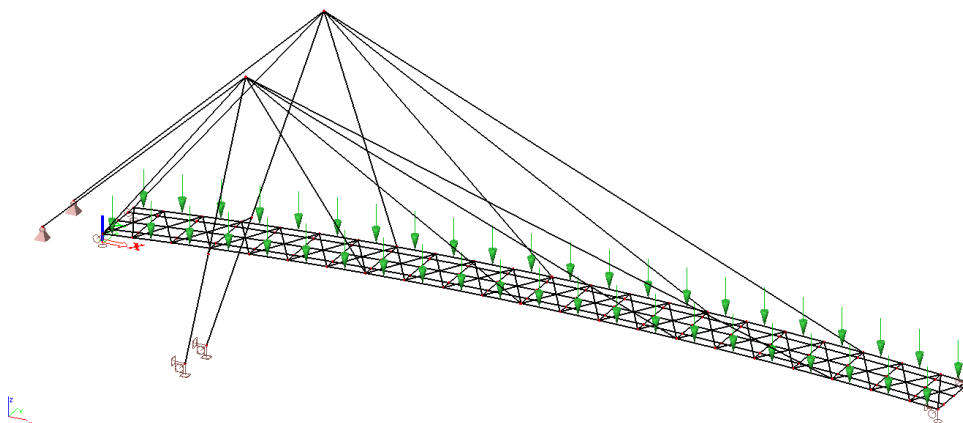


Obr 25. Zatížení mostinami

### 5.1.2.1.3 Zábradlí

- ocelové zábradlí výšky 1,3m
- kotveno do hlavních nosníků v podélném směru ve vzdálenosti po 2m
- odhad - tíha 0,75kN/m

$$g_{k,3} = 0,75 \cdot 2 = 2 \text{ kN}$$



Obr 26. Zatížení zábradlím

### 5.1.2.2 Zatížení proměnná

Dále je pak řešeno zatížení proměnné. Výpočet dle [9] a [10].

#### 5.1.2.2.1 Vítr

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.1.25 = 25 \text{ m/s}$$

Výchozí základní rychlost větru  $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Součinitel směru větru  $c_{dir} = 1$

Součinitel ročního období  $c_{season} = 1$

Výška lávky nad terénem  $z = 6,03 \text{ m}$

Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,911 \cdot 1 \cdot 25 = 22,76 \text{ m/s}$$

Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{6,03}{0,05}\right) = 0,911$$

Kategorie terénu II  $z_0 = 0,05m$

$$z_{min} = 2m$$

$$z_{0,II} = 0,05$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

Součinitel orografie  $c_0(z) = 1$

Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{6,03}{0,05}\right)} = 0,209$$

Součinitel turbulence  $k_l = 1$

Maximální dynamický tlak

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,209] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,76^2 \\ &= 0,797kN/m^2 \end{aligned}$$

Měrná hmotnost vzduchu  $\rho = 1,25kg/m^3$

Vítr v příčném směru

Součinitel sil

$$c_{f,x} = c_{fx,0} = 1$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{3,44}{0,7} = 4,91 \rightarrow c_{fx,0} = 1$$

Referenční plocha - prodyšné zábradlí na obou stranách

$$A_{ref} = d + 0,6 = 0,7 + 0,6 = 1,3m$$

Součinitel zatížení



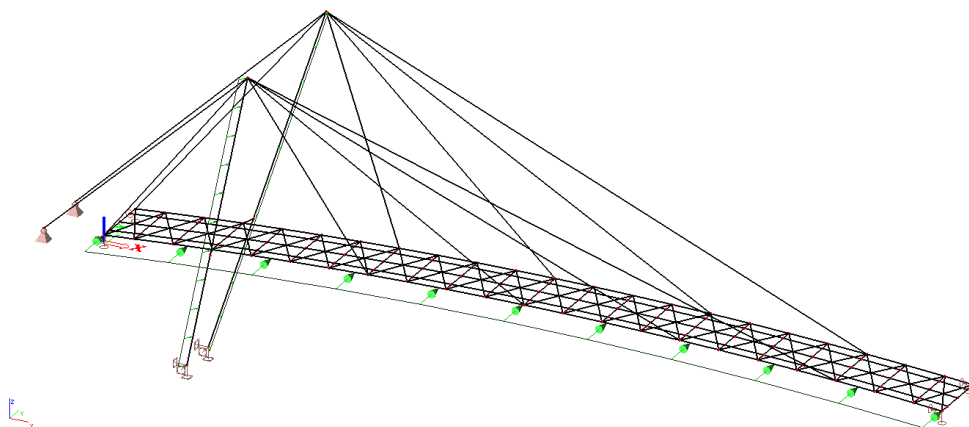
$$C = c_e \cdot c_{f,x} = 2,040 \cdot 1 = 2,040$$

Součinitel expozice

$$c_e = \frac{q_p(z)}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z)} = \frac{0,797}{\frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2} = 2,040$$

Síla větru

$$F_{w,příč} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 2,040 \cdot 1,3 = 1,035 \text{ kN/m}$$



Obr 27. Zatížení příčným větrem

### Vitr ve svislém směru

Součinitel zatížení

$$C = c_e \cdot c_{f,z} = 2,040 \cdot 0,9 = 1,836$$

Součinitel sil

$$c_{f,z} = 0,9$$

Součinitel expozice

$$c_e = \frac{q_p(z)}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z)} = \frac{0,797}{\frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2} = 2,040$$

Referenční plocha

$$\text{Vazník} \quad A_{ref,V} = 0,22 \text{ m}$$

$$\text{Podélník krajní} \quad A_{ref,1} = 0,98 \text{ m}$$

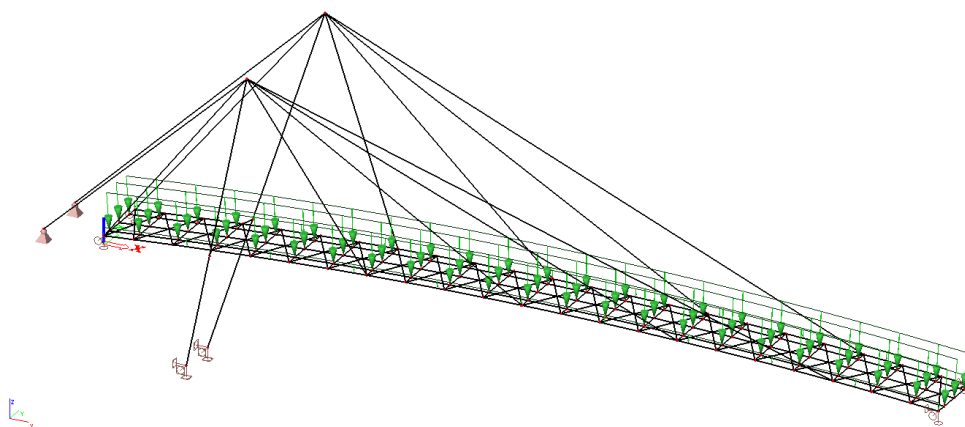
Podélník střední  $A_{ref,2} = 1,02m$

Síla větru

$$F_{w,svis,V} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,V} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 1,836 \cdot 0,22 = 0,157 \text{ kN/m}$$

$$F_{w,svis,1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,1} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 1,836 \cdot 0,99 = 0,709 \text{ kN/m}$$

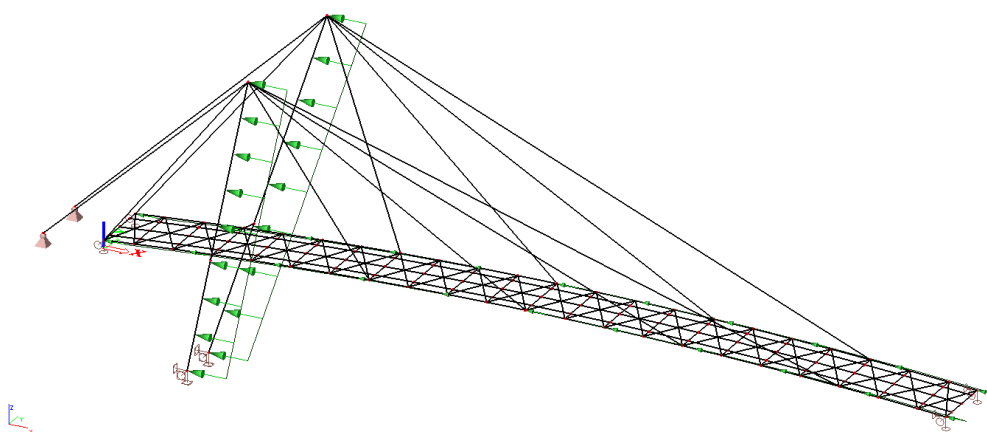
$$F_{w,svis,2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,2} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot 1,836 \cdot 1,02 = 0,732 \text{ N/m}$$



Obr 28. Zatížení svislým větrem

Vítr v podélném směru

$$F_{w,podél,V} = 0,25 \cdot F_{w,příč} = 0,25 \cdot 1,035 = 0,259 \text{ kN/m}$$



Obr 29. Zatížení podélným větrem

Vítr působící na pylon

Průměr pylonu  $d = 457\text{mm}$

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{0,457 \cdot 35,71}{15 \cdot 10^{-6}} = 1,087 \cdot 10^6$$

Kinematická viskozita vzduchu  $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Tlak větru  $q_p = 0,797 \text{ kN/m}^2$

Měrná hmotnost vzduchu  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Maximální rychlost větru

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,797}{1,25}} = 35,71 \text{ m/s}$$

Součinitel ekvivalentní drsnosti- pozinkovaná ocel  $k = 0,2$

$$\frac{k}{b} = \frac{0,2}{457} = 4,376 \cdot 10^{-4}$$

Součinitel síly - z grafu  $c_{f,0} = 0,68$

Součinitel koncového efektu  $\psi_\lambda = 1$

Součinitel síly

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,68 \cdot 1 = 0,68$$

Tlak větru

$$q_k = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot d = 1 \cdot 1 \cdot 0,68 \cdot 0,797 \cdot 0,457 = 0,248 \text{ kN/m}$$

### 5.1.2.2.2 Galloping

Počáteční rychlost gallopingu

$$v_{CG} = \frac{2.S_C}{a_G} \cdot n_{1,b} \cdot b = \frac{2.158,194}{10} \cdot 1,22 \cdot 0,7 = 27,025 \text{ m/s}$$

Scrutonovo číslo

$$S_C = \frac{2.\delta_s.m_{1,e}}{\rho.b^2} = \frac{2.0,12.11700}{1,25.3,44^2} = 189,832$$

Tlumení konstrukce - logaritmický dekrement útlumu  $\delta_s = 0,12$

Měrná hmotnost vzduchu  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Ekvivalentní hmotnost na jednotku délky

$$m_e = \frac{\int_0^L m(s) \cdot \phi_1^2(s) \cdot ds}{\int_0^L \phi_1^2(s) \cdot ds} = \frac{\int_0^{39} 500 \cdot s \cdot \sin^2 \frac{\pi \cdot s}{39} \cdot ds}{\int_0^{39} \sin^2 \frac{\pi \cdot s}{39} \cdot ds} = \frac{190125}{19,5} = 9750$$

Základní vlastní ohybová frekvence kmitání konstrukce kolmo ke směru větru

$$n_{1,B} = \frac{K^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_b}{m}} = \frac{3,8^2}{2 \cdot \pi \cdot 39^2} \cdot \sqrt{\frac{12,6 \cdot 10^9 \cdot 25,855 \cdot 10^{-3}}{500}} = 1,22$$

Youngův modul pružnosti  $E = 12,6 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

Délka rozpětí nejdelšího pole  $L = 39 \text{ m}$

Moment setrvačnosti  $I_b = 25,855 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

Hmotnost na jednotku délky  $m=500 \text{ kg/m}$

Bezrozměrný součinitel

$$K = \frac{L_1}{L_2} = \frac{4}{39} = 0,103 \rightarrow K=3,8$$

Šířka  $b = 0,7 \text{ m}$

Součinitel nestability při gallopingu  $a_G = 10$

Základní rychlost větru gallopingu

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{C,G} = 1.1.27,025 = 27,025 \text{ m/s}$$

Součinitel směru větru  $c_{dir} = 1$

Součinitel ročního období  $c_{season} = 1$

Výška lávka nad terénem  $z = 6,03m$

Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,911 \cdot 1 \cdot 27,025 = 27,025 \text{ m/s}$$

Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{6,03}{0,05}\right) = 0,911$$

Kategorie terénu II  $z_0 = 0,05m$

$$z_{min} = 2m$$

$$z_{0,II} = 0,05$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

Součinitel orografie  $c_0(z) = 1$

Intenzita turbulence

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{6,03}{0,05}\right)} = 0,209$$

Součinitel turbulence  $k_t = 1$

Maximální dynamický tlak

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,209] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,025^2 \\ &= 1,124 kN/m^2 \end{aligned}$$

Měrná hmotnost vzduchu  $\rho = 1,25 kg/m^3$

Vítr při gallopingu

Součinitel sil

$$c_{f,x} = c_{fx,0} = 1$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{3,44}{0,7} = 4,91 \rightarrow c_{fx,0} = 1$$

Referenční plocha- prodyšné zábradlí na obou stranách

$$A_{ref} = d + 0,6 = 0,7 + 0,6 = 1,3m$$

Součinitel zatížení

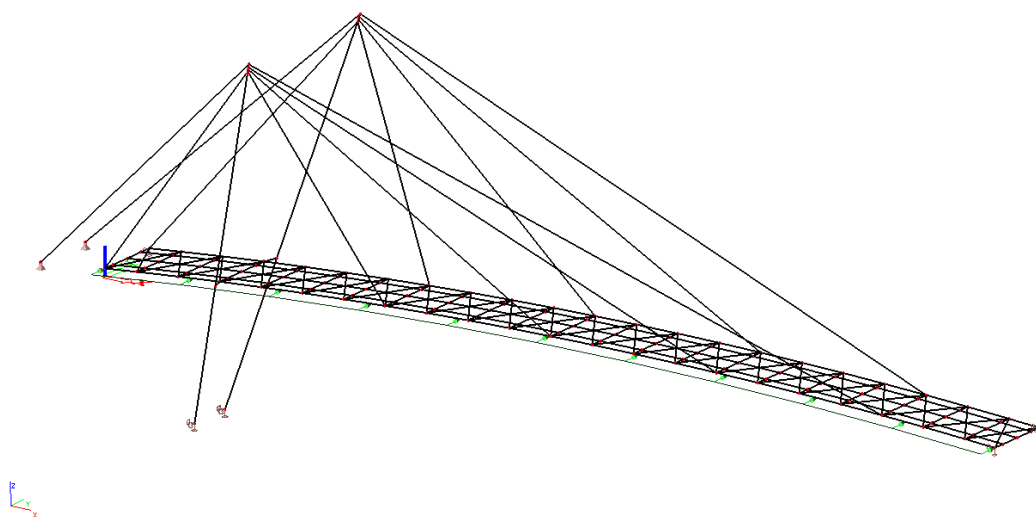
$$C = c_e \cdot c_{f,x} = 2,040 \cdot 1 = 2,040$$

Součinitel expozice

$$c_e = \frac{q_p(z)}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z)} = \frac{0,797}{\frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2} = 2,040$$

Síla větru

$$F_{w,příč} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,025^2 \cdot 2,040 \cdot 1,3 = 1,035 \text{ kN/m}$$



Obr 30. Zatížení gallopingem

### 5.1.2.2.3 Sníh

Zatížení sněhem

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}$$

Tvarový součinitel zatížení sněhem  $\mu_i = 0,8$

Součinitel expozice - typ krajiny normální  $C_e = 1$

Tepelný součinitel  $C_t = 1$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi - sněhová oblast III

$$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sněhem nebude uvažováno, protože je menší než zatížení davem lidí.

### 5.1.2.2.4 Zatížení davem lidí

Doporučená hodnota dle ČSN EN 1991-2

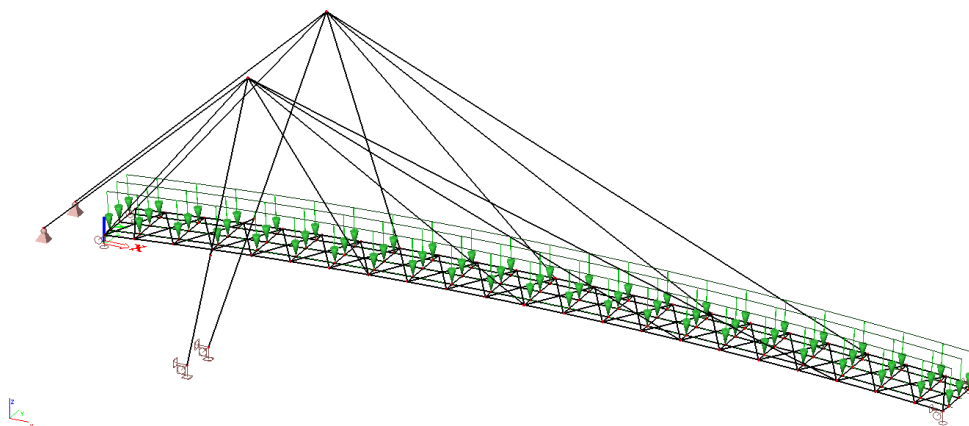
$$q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení na krajní podélník

$$q_{fk,1} = 5 \cdot 0,99 = 4,95 \text{ kN/m}$$

Zatížení na střední podélník

$$q_{fk,2} = 5 \cdot 1,02 = 5,1 \text{ kN/m}$$



Obr 31. Zatížení davem lidí



#### 7.2.2.5 Vodorovné zatížení

Vodorovné zatížení se rovná 10% ze svislého zatížení vyvolaného davem lidí

$$q_{fkp} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení na krajní podélník

$$q_{fk,1,p} = 5.0,99 = 0,495 \text{ kN/m}$$

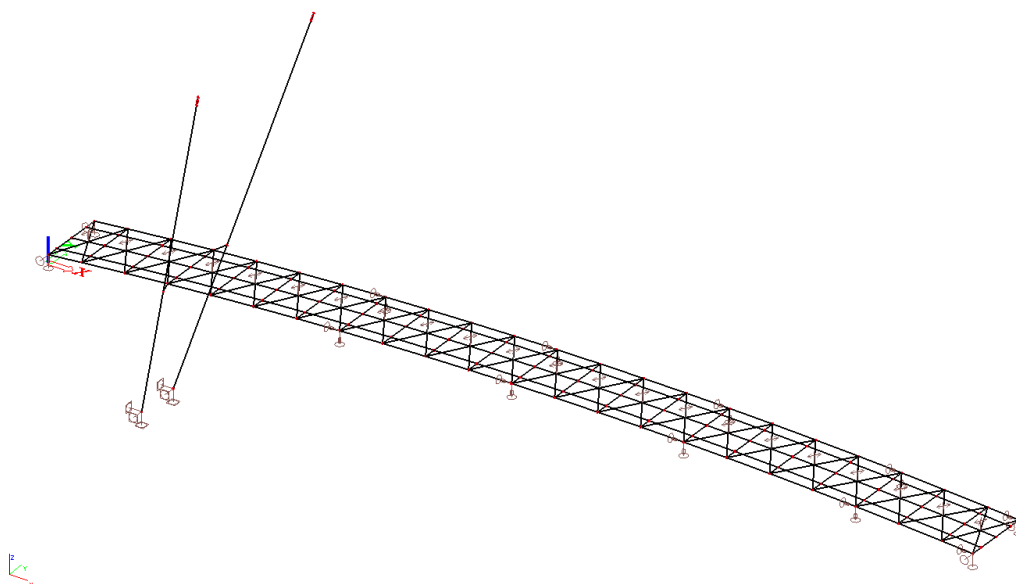
Zatížení na střední podélník

$$q_{fk,2,p} = 5.1,02 = 0,51 \text{ kN/m}$$

### 5.1.3 Model

Pro vytvoření výpočtového modelu byl použit program Scia Engineer. Model však nefungoval správně. Závěsy, definované nelineární funkcí lano, se nezapojovaly do roznosu sil způsobem, který byl očekáván. Přistoupili jsme proto k zadání závěsu pomocí funkce nosník s vyloučením tlaku a s vyloučením vzniku mimo osových sil. Ani tento model však nefungoval správně. Poslední možností bylo zadat závěsy jako nosník a dodat mu počáteční napětí, které by simulovalo předepnutí tyčí. Ani toto schéma však nefungovalo správně.

Poslední možností pro výpočet vnitřních sil nutných k posouzení jednotlivých prvků mostovky bylo nahradit v místě napojení závěsů na příčníky tyto závěsy pružnými podporami, kterým bude přiřknuta tuhost odpovídající lanům.



Obr 32. Výpočtový model vytvořený pro statický výpočet

#### Lano 1

Délka lana  $l = 31 \text{ m}$

Úhel mezi lanem a vodorovnou osou  $\phi = 0,367 \text{ rad}$

Průměr tyče  $d = 28 \text{ mm}$

Celková tuhost lana

$$k = \frac{F}{\frac{F \cdot l}{E \cdot A}} = \frac{E \cdot A}{l} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,028^2}{4}}{31} = 4,169 \text{ MN/m}$$

Vodorovná tuhost

$$k_V = k \cdot \cos\phi = 4,169 \cdot \cos 0,367 = 3,891 \text{ MN/m}$$

Svislá tuhost

$$k_S = k \cdot \sin\phi = 4,169 \cdot \sin 0,367 = 1,496 \text{ MN/m}$$

### Lano 2

Délka lana  $l = 23,4 \text{ m}$

Úhel mezi lanem a vodorovnou osou  $\phi = 0,471 \text{ rad}$

Průměr tyče  $d = 28 \text{ mm}$

Celková tuhost lana

$$k = \frac{F}{\frac{F \cdot l}{E \cdot A}} = \frac{E \cdot A}{l} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,028^2}{4}}{23,4} = 5,523 \text{ MN/m}$$

Vodorovná tuhost

$$k_V = k \cdot \cos\phi = 5,523 \cdot \cos 0,471 = 4,922 \text{ MN/m}$$

Svislá tuhost

$$k_S = k \cdot \sin\phi = 5,523 \cdot \sin 0,471 = 2,506 \text{ MN/m}$$

### Lano 3

Délka lana  $l = 16,6 \text{ m}$

Úhel mezi lanem a vodorovnou osou  $\phi = 0,681 \text{ rad}$

Průměr tyče  $d = 28 \text{ mm}$

Celková tuhost lana

$$k = \frac{F}{\frac{F \cdot l}{E \cdot A}} = \frac{E \cdot A}{l} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,028^2}{4}}{16,6} = 7,786 \text{ MN/m}$$

Vodorovná tuhost

$$k_V = k \cdot \cos\phi = 7,786 \cdot \cos 0,681 = 6,049 \text{ MN/m}$$

Svislá tuhost

$$k_S = k \cdot \sin\phi = 7,786 \cdot \sin 0,681 = 4,902 \text{ MN/m}$$

#### Lano 4

$$\text{Délka lana} \quad l = 11,6 \text{ m}$$

$$\text{Úhel mezi lanem a vodorovnou osou} \quad \phi = 1,134 \text{ rad}$$

$$\text{Průměr tyče} \quad d = 28 \text{ mm}$$

Celková tuhost lana

$$k = \frac{F}{\frac{F \cdot l}{E \cdot A}} = \frac{E \cdot A}{l} = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,028^2}{4}}{11,6} = 11,142 \text{ MN/m}$$

Vodorovná tuhost

$$k_V = k \cdot \cos\phi = 11,142 \cdot \cos 1,134 = 4,713 \text{ MN/m}$$

Svislá tuhost

$$k_S = k \cdot \sin\phi = 11,142 \cdot \sin 1,134 = 10,096 \text{ MN/m}$$

Další tuhosti, které bylo nutno spočítat, jsou tuhosti v místech připojení příčníků na hlavní vazníky.

Modul prokluzu jednoho stříhu

$$K_{ser} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20} = \frac{(410)^{1,5} \cdot 16}{20} = 6641 \text{ N/mm}$$

Modul prokluzu pro MSÚ

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = \frac{2}{3} \cdot 6641 = 4427 \text{ N/mm}$$

Torzní pružinová tuhost

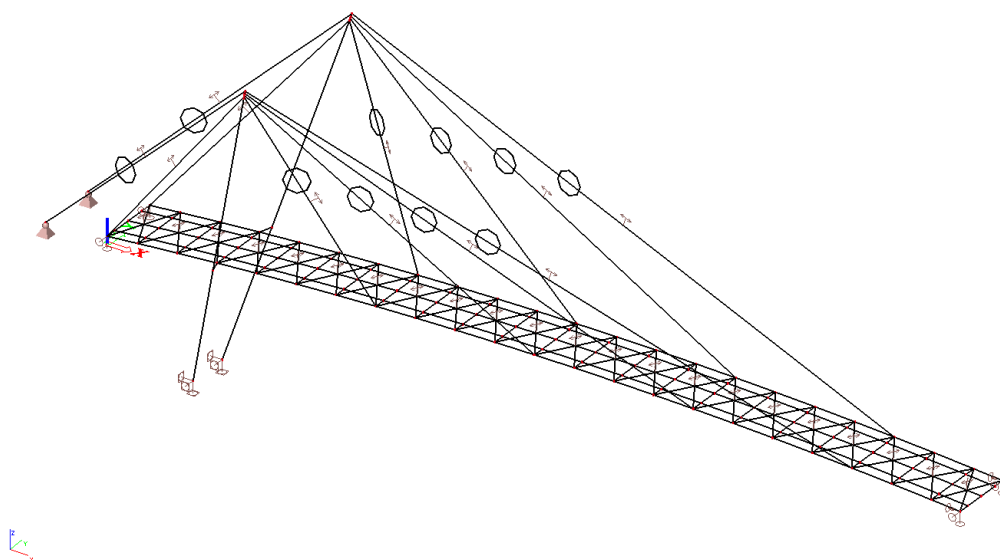
$$K_r = K_u \cdot r^2 = 4427 \cdot 165^2 = 120525075 \text{ N/mm}$$

Dvojstřížný spoj

$$K = 2 \cdot 120,525 = 241,05 \text{ MN/mm}$$

Po vytvoření modelu bez závěsů, ale s pružnými podporami v místech napojení závěsů na mostovku s tuhostí odpovídající těmto lanům už průběh vnitřních sil odpovídá očekávaným průběhům. Tento model proto bude použit pro výpočet vnitřních sil prvků mostovky.

Pro zjištění vnitřních sil pylonu a závěsů bude použit druhý model, kde závěsy budou vytvořeny pomocí funkce nosník s vyloučením tlaku a mimoosových sil. Tento model bude také použit pro modální analýzu, jejímž výsledkem bude zjištění vlastních frekvencí.



Obr 33. Model vytvořený pro modální analýzu konstrukce

### 5.1.4 Materiálové charakteristiky

#### Dřevo

<i>Dřevo GL28h</i>	<i>Dřevo GL24h</i>	<i>Dřevo třídy D35</i>
$f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$	$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$	$f_{m,k} = 35 \text{ MPa}$
$f_{t,0,k} = 19,5 \text{ MPa}$	$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ MPa}$	$f_{t,0,k} = 21 \text{ MPa}$
$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ MPa}$	$f_{c,0,k} = 24 \text{ MPa}$	$f_{c,0,k} = 25 \text{ MPa}$
$f_{c,90k} = 3 \text{ MPa}$	$f_{c,90k} = 2,7 \text{ MPa}$	$f_{c,90k} = 8,1 \text{ MPa}$
$f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$	$f_{v,k} = 2,7 \text{ MPa}$	$f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$
$E_{0,05} = 10200 \text{ MPa}$	$E_{0,05} = 9400 \text{ MPa}$	$E_{0,05} = 10100 \text{ MPa}$
$\rho_k = 410 \text{ MPa}$	$\rho_k = 380 \text{ MPa}$	$\rho_k = 650 \text{ MPa}$
$\gamma_M = 1,25$	$\gamma_M = 1,25$	$\gamma_M = 1,3$

Tabulka 1. Materiálové charakteristiky- dřevo

#### Ocel

<b>S355</b>	<b>S460</b>
$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$	$f_{y,k} = 460 \text{ MPa}$

Tabulka 2. Materiálové charakteristiky- ocel

### 5.1.5 Posouzení

Dále jsou provedeny posudky jednotlivých prvků lávky dle [11] a [12].

#### 5.1.5.1 Pylon

Pylon je zhotoven z oceli třídy S355. Je kruhového průřezu s průměrem 457mm a tloušťkou stěny 40mm.

##### Ohyb

$$M_{Ed} = 660,71 \text{ kNm}$$

Únosnost

$$W_{y,PL} = 6,9769 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_{yd}}{\gamma_M} = \frac{9,769 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{355}{1}}{1} = 2476,8 \text{ kNm}$$

Posouzení na MSÚ

$$M_{Ed} = 660,71 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 2476,8 \text{ kNm}$$

Využito na 26,7%

*VYHOVUJE*

##### Vzpěrný tlak

$$N_{Ed} = 1098,9 \text{ kN}$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,47 + \sqrt{0,47^2 - 0,067^2}} = 1$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,067 - 0,2) + 0,067^2] = 0,469$$

Křivka vzpěrné pevnosti c  $\alpha = 0,49$

Poměrná štíhlost prutu

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yd}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{52,375 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{355}{1,15}}{4132,045}} = 0,063$$



Plocha průřezu

$$A = \pi \cdot R^2 - \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 228,5^2 - \pi \cdot 188,5^2 = 52375,2 \text{ mm}^2 = 0,052 \text{ m}^2$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3}}{24^2} = 4132,045 \text{ kN}$$

Součinitel vzpěrné délky  $\beta = 2$

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = L \cdot \beta = 12 \cdot 2 = 24 \text{ m}$$

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{1,0 \cdot 0,052 \cdot \frac{355}{1}}{1} = 18593,196 \text{ kN}$$

Posouzení na MSÚ

$$N_{Ed} = 1098,9 \text{ kN} \leq N_{b,Rd} = 18593,196 \text{ kN}$$

Využito na 5,9 %

*VYHOVUJE*

**5.1.5.2 Tyčové závěsy**

Pro zavěšení ve směru od Štramberku jsou navrženy tyčové závěsy průměru 45mm z oceli pevnosti S460.

Tah

$$N_{Ed} = 459,5 \text{ kN}$$

Průměr tyčových závěsů  $d = 45 \text{ mm}$

Mez kluzu oceli  $f_y = 430 \text{ MPa}$

Tahová únosnost

$$N_{Rd} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma} = \frac{\pi \cdot 45^2}{4} \cdot \frac{430}{1} = 683,539 \text{ kN}$$

Posouzení na MSÚ

$$N_{Ed} = 459,5 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 683,539 \text{ kN}$$

Využito na 67,2%

*VYHOVUJE*

Pro zavěšení ve směru od Příbora jsou navrženy tyčové závěsy průměru 28mm z oceli pevnosti S460.

Tah

$$N_{Ed} = 271,34 \text{ kN}$$

Průměr tyčových závěsů  $d = 28 \text{ mm}$

Mez kluzu oceli  $f_y = 460 \text{ MPa}$

Tahová únosnost

$$N_{Rd} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma} = \frac{\pi \cdot 28^2}{4} \cdot \frac{460}{1} = 283,102 \text{ kN}$$

Posouzení na MSÚ

$$N_{Ed} = 271,34 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 283,102 \text{ kN}$$

Využito na 95,8%

*VYHOVUJE*

### 5.1.5.3 Ocelový příčník

Ocelový příčník je vyhotoven ze svařovaného obdélníkového průřezu rozměru 240x200mm s tloušťkou stěny 4mm. Je vyhotoven z oceli třídy S355.

#### Ohyb

$$M_{Ed} = 29,73 \text{ kNm}$$

Průřezový modul  $W_{y,pl} = 3,104 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3$

Ohybová únosnost

$$M_{c,Rd} = \frac{w_{pl} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma}}{\gamma_M} = \frac{3,104 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{1}}{1} = 110,192 \text{ kNm}$$

Posouzení na MSÚ

$$M_{Ed} = 29,73 \text{ kNm} \leq M_{c,Rd} = 110,192 \text{ kNm}$$

Využito na 27%

*VYHOVUJE*

#### Smyk

$$V_{Ed} = 32,09 \text{ kN}$$

Smyková plocha

$$A_v = 2 \cdot h \cdot t = 2 \cdot 240 \cdot 4 = 1920 \text{ mm}^2$$

Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma}}{\gamma_M} = \frac{1920 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{355}{1}}{1} = 393,521 \text{ kN}$$

Posouzení na MSÚ

$$V_{Ed} = 32,09 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd} = 393,521 \text{ kN}$$

Využito na 8,2%

*VYHOVUJE*

Posouzení MSP

$$w = 9,4 \text{ mm} \leq w_{inst} = \frac{L}{250} = \frac{3000}{250} = 12 \text{ mm}$$

Využito na 78%

VYHOVUJE

#### 5.1.5.4 Ocelové ztužidlo

Ocelové ztužidlo je tvořeno ocelovými tyčemi průřezu 18mm. Ocel je pevnosti S355.

Tah

$$N_{Ed} = 40,55 \text{ kN}$$

Průměr tyčových závěsů

$$d = 18 \text{ mm}$$

Mez kluzu oceli

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

Tahová únosnost

$$N_{Rd} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma} = \frac{\pi \cdot 18^2}{4} \cdot \frac{355}{1} = 90,291 \text{ kN}$$

Posouzení na MSÚ

$$N_{Ed} = 40,55 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 90,291 \text{ kN}$$

Využito na 44,9%

VYHOVUJE

#### 5.1.5.5 Mostina

Mostiny jsou tvořeny dubovými mostinami průřezu 70x70mm ze dřeva třídy D35.

Ohyb

$$M_{Ed} = 10,354 \cdot 10^{-3} \text{ kNm}$$

Průřezový modul

$$W_y = 57,166 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Návrhové napětí

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl}} = \frac{10,354}{57,166 \cdot 10^{-6}} = 0,181 \text{ MPa}$$

Třída provozu 3

$$k_{mod} = 0,7$$

Součinitel materiálu- rostlé dřevo  $\gamma_M = 1,3$

Únosnost v ohybu

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{35}{1,3} = 18,846 MPa$$

Posouzení na MSÚ

$$\sigma_{m,y,d} = 0,181 MPa \leq f_{m,d} = 18,846 MPa$$

Využito na 1%

*VYHOVUJE*

Smyk

$$V_{Ed} = 269,45 \cdot 10^{-3} kN$$

$$k_{cr} = 0,67$$

Součinitel materiálu - rostlé dřevo  $\gamma_M = 1,3$

Účinná šířka

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 70 = 46,9 mm$$

Účinná plocha

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 46,9 \cdot 70 = 3283 mm^2$$

Návrhové napětí

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed,z}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{269,45}{3,283 \cdot 10^{-3}} = 0,123 MPa$$

Únosnost ve smyku

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,154 MPa$$

Posouzení MSÚ

$$\tau_d = 0,123 MPa \leq f_{v,d} = 2,154 MPa$$

Využito na 5,7%

*VYHOVUJE*

**5.1.5.6 Podélník**

Podélníky jsou zhotoveny z nosníků z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h. Průřez podélníku je 160x120mm.

Ohyb

$$M_{Ed} = 6,72 \text{ kNm}$$

Průřezový modul  $W_y = 5,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Návrhové napětí

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl}} = \frac{6,72 \cdot 10^3}{0,512 \cdot 10^{-3}} = 13,125 \text{ MPa}$$

Třída provozu 3  $k_{mod} = 0,7$

Součinitel materiálu - LLD  $\gamma_M = 1,25$

Únosnost v ohybu

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,440 \text{ MPa}$$

Posouzení na MSÚ

$$\sigma_{m,y,d} = 13,125 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 13,440 \text{ MPa}$$

Využito na 97,7%

*VYHOVUJE*

Smyk

$$V_{Ed} = 10,83 \text{ kN}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

Součinitel materiálu - rostlé dřevo  $\gamma_M = 1,25$

Účinná šířka

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 120 = 80,4 \text{ mm}$$

Účinná plocha

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 80,4 \cdot 160 = 12864 \text{ mm}^2$$

Návrhové napětí

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed,z}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{10,83 \cdot 10^3}{12,864 \cdot 10^{-3}} = 1,263 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,512 \text{ MPa}$$

Posouzení na MSÚ

$$\tau_d = 1,263 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,512 \text{ MPa}$$

Využito na 83,5%

*VYHOVUJE*

Tlak kolmo na vlákna

$$V_{ed,z} = 14,011 \text{ kN}$$

Styčná plocha

$$A_{ef} = b_{podélník} \cdot b_{příčník} = 120 \cdot 200 = 24000 \text{ mm}^2$$

Návrhové napětí

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{ed,z}}{A_{ef}} = \frac{14,011 \cdot 10^3}{0,024} = 0,584 \text{ MPa}$$

Únosnost v tlaku kolmo na vlákna

$$f_{c,90,d} = k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,5 \cdot 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 2,268 \text{ MPa}$$

Posouzení MSÚ

$$\sigma_{c,90,d} = 0,584 \text{ MPa} \leq f_{c,90,d} = 2,268 \text{ MPa}$$

Využito na 25,8%

*VYHOVUJE*



Posouzení MSP

$$w = 13,4mm \leq w_{inst} = \frac{L}{300} = \frac{2000}{300} = 6,7mm$$

Využito na 200%

NEVYHOVUJE

**5.1.5.7 Příčník**

Příčník je tvořen nosníkem z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h. Tento příčník je obdélníkového průřezu o rozměrech 240x200mm.

Ohyb

$$M_{Ed} = 23,29 \text{ kNm}$$

Průřezový modul  $W_y = 1,92 \cdot 10^{-3} m^3$

Návrhové napětí

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{23,29 \cdot 10^3}{1,92 \cdot 10^{-3}} = 12,13 \text{ MPa}$$

Třída provozu 3  $k_{mod} = 0,7$

Součinitel materiálu- LLD  $\gamma_M = 1,25$

Únosnost v ohybu

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,440 \text{ MPa}$$

Posouzení na MSÚ

$$\sigma_{m,y,d} = 12,13 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 13,440 \text{ MPa}$$

Využito na 90,3%

VYHOVUJE

Smyk

$$V_{Ed} = 24,74 \text{ kN}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

Součinitel materiálu- rostlé dřevo  $\gamma_M = 1,25$

Účinná šířka

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 200 = 134 \text{ mm}$$

Účinná plocha

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 134 \cdot 240 = 32160 \text{ mm}^2$$

Návrhové napětí

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed,z}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{27,74 \cdot 10^3}{32,16 \cdot 10^{-3}} = 1,154 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,512 \text{ MPa}$$

Posouzení na MSÚ

$$\tau_d = 1,154 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,512 \text{ MPa}$$

Využito na 76,3%

*VYHOVUJE*

Posouzení MSP

$$w = 13,5 \text{ mm} \leq w_{inst} = \frac{L}{300} = \frac{3000}{300} = 10 \text{ mm}$$

Využito na 135%

*NEVYHOVUJE*

**5.1.5.8 Vazník**

Dva hlavní vazníky jsou vytvořeny z lepeného lamelového dřeva třídy GL28h.

Vazníky mají obdélníkový průřez o rozměrech 700x220mm.

Ohyb

$$M_{Ed} = 106,44 \text{ kNm}$$

Průřezový modul  $W_y = 17,967 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Návrhové napětí

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl}} = \frac{106,44 \cdot 10^3}{17,967 \cdot 10^{-3}} = 5,924 \text{ MPa}$$

Třída provozu 3  $k_{mod} = 0,7$

Součinitel materiálu - LLD  $\gamma_M = 1,25$

Únosnost v ohybu

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{28}{1,25} = 15,680 \text{ MPa}$$

Posouzení na MSÚ

$$\sigma_{m,y,d} = 5,924 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = 15,680 \text{ MPa}$$

Využito na 37,8%

*VYHOVUJE*

Smyk

$$V_{Ed} = 52,47 \text{ kN}$$

$$k_{cr} = 0,67$$

Součinitel materiálu - rostlé dřevo  $\gamma_M = 1,25$

Účinná šířka

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 220 = 147,4 \text{ mm}$$

Účinná plocha

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 147,4 \cdot 700 = 103180 \text{ mm}^2$$

Návrhové napětí

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed,z}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{52,47 \cdot 10^3}{103,180 \cdot 10^{-3}} = 0,763 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{3,2}{1,25} = 1,792 \text{ MPa}$$

Posouzení na MSÚ

$$\tau_d = 0,763 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = 1,792 \text{ MPa}$$

Využito na 42,6%

*VYHOVUJE*

Posouzení MSP

Mezní hodnota průhybu pro zatížení pěší dopravou.

$$w = 61 \text{ mm} \leq w_{inst} = \frac{L}{400} = \frac{39000}{400} = 97,5 \text{ mm}$$

Využito na 63%

*VYHOVUJE*

## 5.2 Diagnostická část

V této části práce je rozebrán reálný stav lávky, provádění zatěžovacích zkoušek a také další diagnostické metody.

### 5.2.1 Stav lávky v čase měření

Pro zhodnocení stavu nově zbudované dřevěné lávky v Příboře byla zvolena metoda dynamické zatěžovací zkoušky. Jedná se o zavěšenou lávku, kterou významným způsobem ovlivňuje dynamické zatížení a právě toto zatížení je během dynamické zatěžovací zkoušky vyvoláváno.

Jako první však byla provedena obhlídka lávky. Při prvním měření, které proběhlo v dubnu tohoto roku, bylo během obhlídky zjištěno, že konstrukce mostu je už na konečném místě, nebylo však dokončeno samotné napojení cyklistické cesty před a za lávkou. Mimo to nebyla lávka finálně zakotvena - ložiska nebyla zakotvena a podlita a lávka byla z tohoto důvodu na krajích přitížena betonovými žlaby pro odvod vody. Také nebyly napnuty závěsy a nebyl instalován tlumič, který byl původně navržen. Všechny tyto skutečnosti ovlivní výsledky dynamické zatěžovací zkoušky. Dalším nedostatkem, který však neovlivní výsledky měření, bylo nezačištění montážních spojů, které by postupem času mohlo vést k degradaci dřevěné nosné konstrukce a to ať vinou povětrnostních vlivů či biologického napadení dřeva.



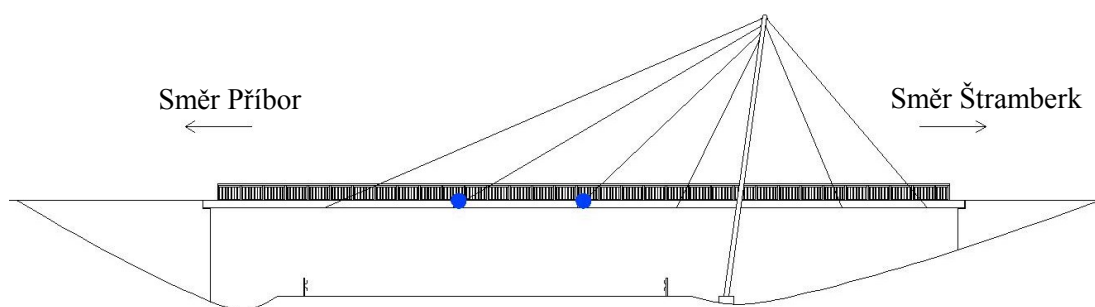
*Obr 34. Dočasně zajištěné ložisko*

Při druhém měření, které proběhlo v půlce října, bylo zjištěno, že napojení cyklistické stezky včetně zábradlí je již dokončeno. Lávka již byla finálně zakotvena ve svých ložiscích, které jsou řádně podlity. Už tato změna výrazně ovlivnila dynamické chování lávky, což bylo lehce pozorovatelné i bez měření. Dále byl osazen tlumič, který však zatím nebyl řádně nastaven. Závěsy byly stále nenapnuté a již při menším dynamickém zatížení bylo pouhým okem viditelné, jak kmitají. Tyto nedostatky a nedodělky opět nepříznivě ovlivní výsledky zatěžovací zkoušky.

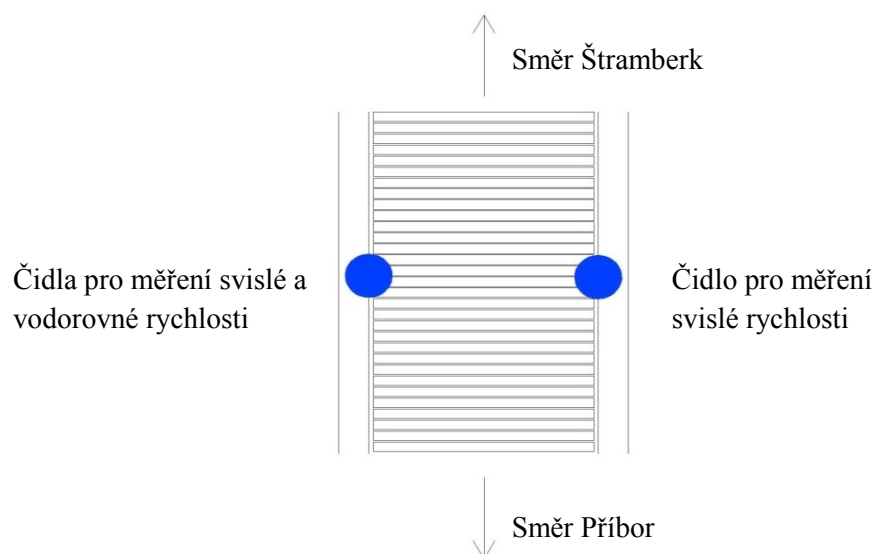
### 5.2.2 Použitá čidla a jejich rozmístění

Pro měření byly použity snímače KD41, které jsou produktem firmy Metra Mess-und Frequenztechnik. Tyto snímače se používají pro monitorování vibrací v průmyslu, sledování otřesů a seismicity, měření vibrací působících na lidské tělo a monitorování rázu a frekvenční analýzu vibrací. Tento snímač pracuje na piezoelektrickém principu. Při mechanické deformaci vhodných krystalů dochází k posunu iontů opačných nábojů v krystalické mřížce. Tím se elektrická těžiště těchto kladných a záporných iontů, které je v nezdeformovaném stavu ve stejném místě, vůči sobě posunou a dojde tak ke vzniku elektrického náboje na povrchu krystalu. Velikost náboje je pak přímo úměrná působící síle.

Tyto snímače mají velký dynamický i frekvenční rozsah. Jsou kompaktní, citlivé a bez pohyblivých částí, které by mohly způsobit poruchu.



Obr 35. Umístění čidel po délce lávky - v polovině rozpětí při prvním měření, ve třetině rozpětí při druhém měření



Obr 36. Příčné umístění čidel na konstrukci mostu



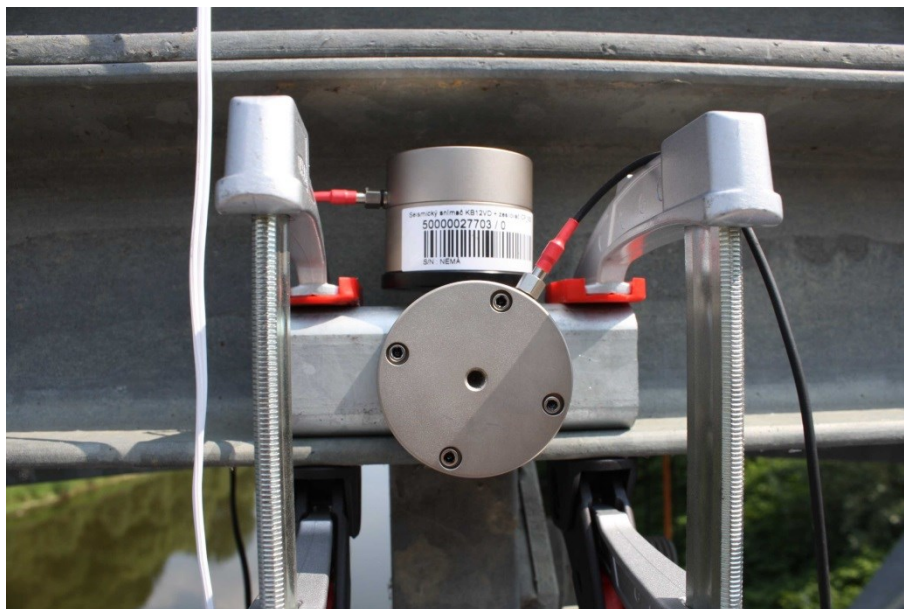
### 5.2.3 Průběh měření

Měření probíhalo dle [13].

Po příjezdu na místo měření jsme zjistili stav lávky. Následně jsme vyložili potřebný materiál a začali s umisťováním čidel. Čidla jsou přes příložky pomocí svorek připevněna k vazníkům a to prvně v polovině a poté ve třetině rozpětí lávky. Veškerá čidla se pomocí kabelů propojí s počítačem, který zaznamenává a ukládá výsledky měření pomocí programu Catman easy.

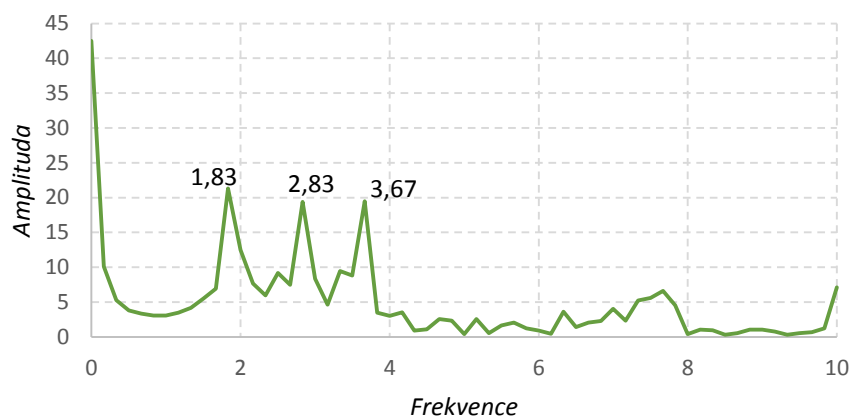
Pro měření byla jako zatížení použita jedna osoba, následně pak také dvě osoby, každá jdoucí v jednom pochozím pruhu ve stejném směru. Ty lávku zatěžovaly postupně chůzí o frekvenci 1Hz a 2Hz, následně během a sprintem a to jak ve směru na Štramberk tak také ve směru zpět na Příbor. Naposledy byl vyvozen ráz a to formou dopadu z výskoku.

Po spuštění měření se prvně nechá ustálit případné kmitání lávky a následně je spuštěno dynamické zatěžování. Po vyvození zatížení po celé délce lávky, kdy osoby projdou z pevného podkladu přes konstrukci lávky zase až na pevný podklad, se nechá celá konstrukce dokmitat. Poté může být spuštěno další měření v opačném směru. Po proběhnutí všech naplánovaných měření byla přesunuta čidla do třetiny rozpětí mostu a celé měření se opakovalo.

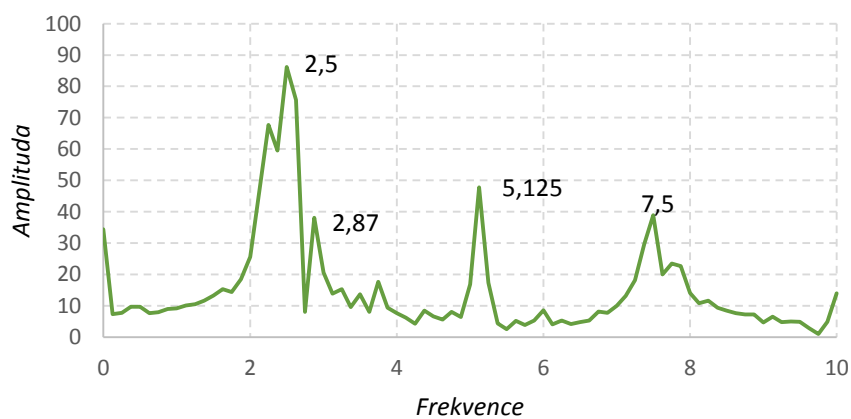


*Obr 37. Snímače KD41 použité při měření*

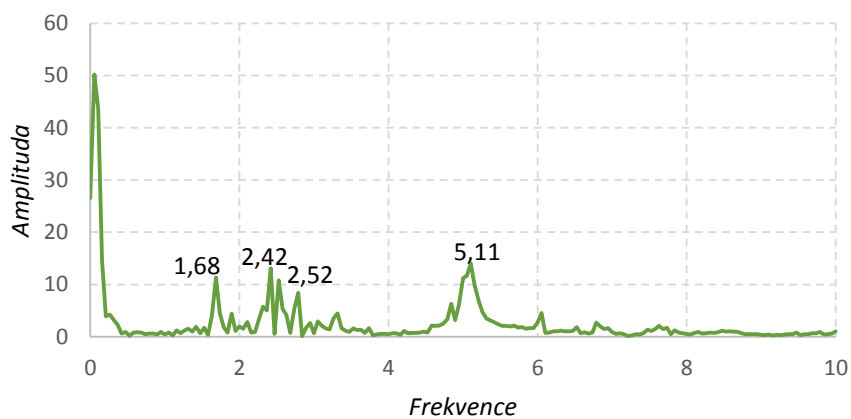
### 5.3 Vyhodnocení



Graf 1. Vlastní frekvence vybuzevané sprintem dvou osob ve směru na Štramberk, duben 2015

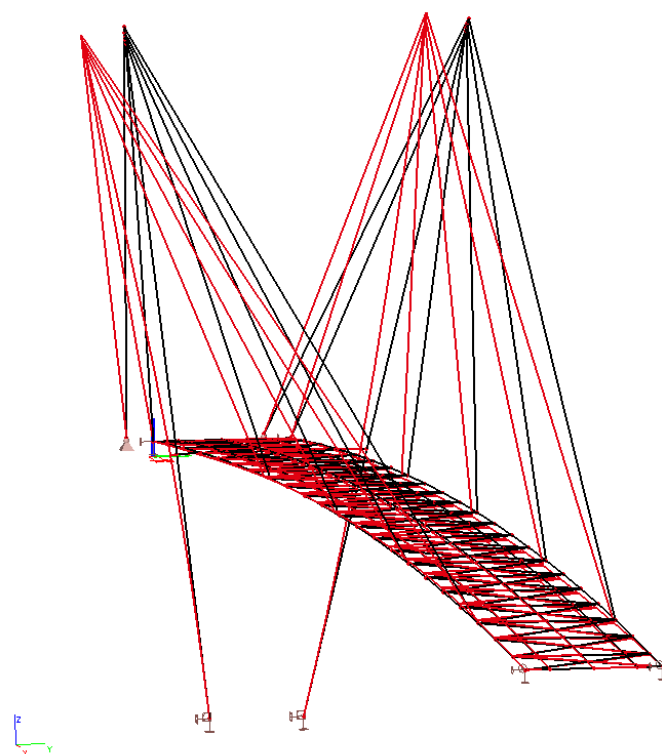


Graf 2. Vlastní frekvence vybuzevané skokem dvou osob v polovině rozpětí mostu, duben 2015

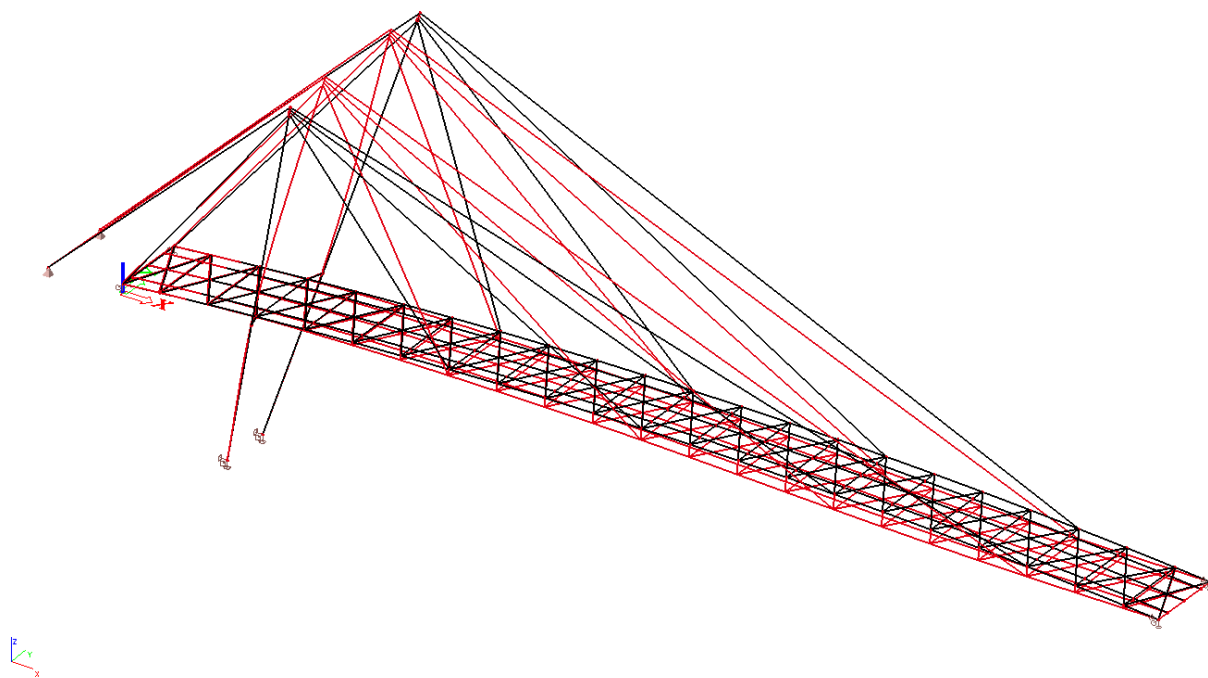


Graf 3. Vlastní frekvence vybuzevané jednou osobou chůzí o frekvenci 1 Hz ve směru na Štramberk, duben 2015

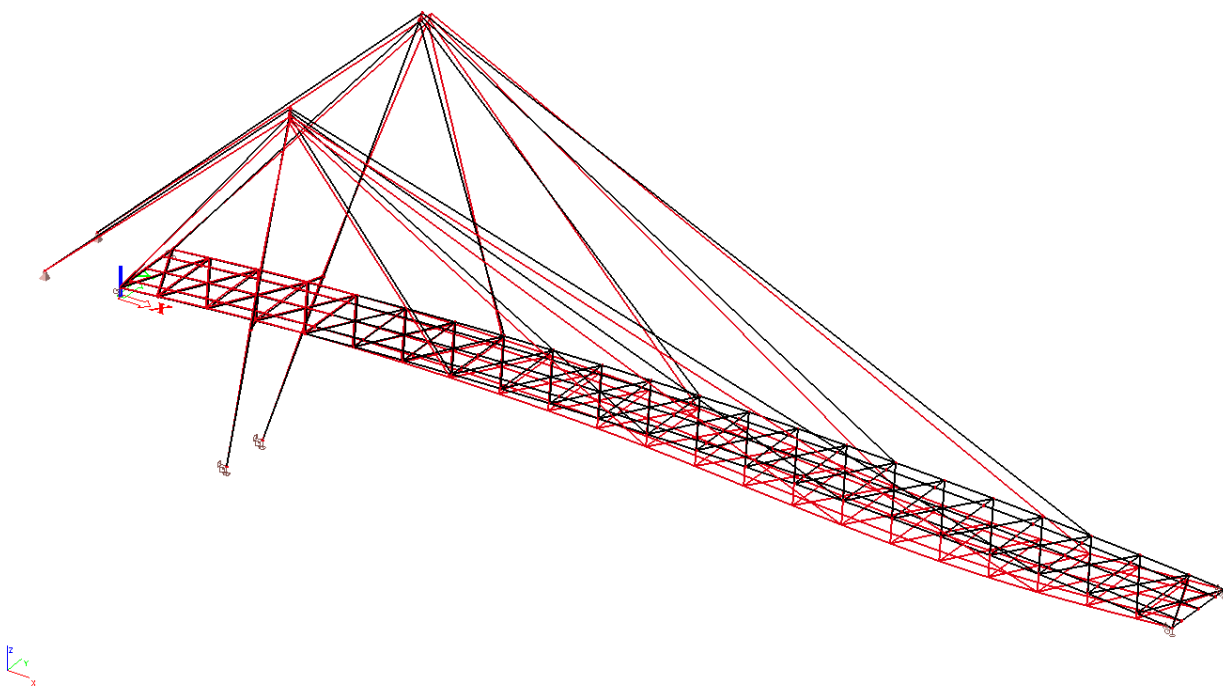
Pozn. Výsledky z měření s čidly umístěnými v polovině rozpětí



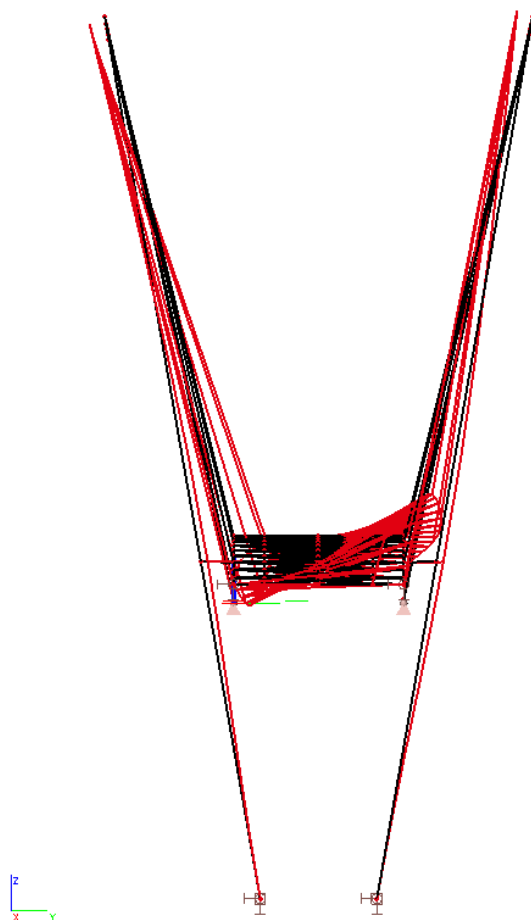
Obr 38. Příčná deformace konstrukce při frekvenci 1,85Hz (výpočtový model)



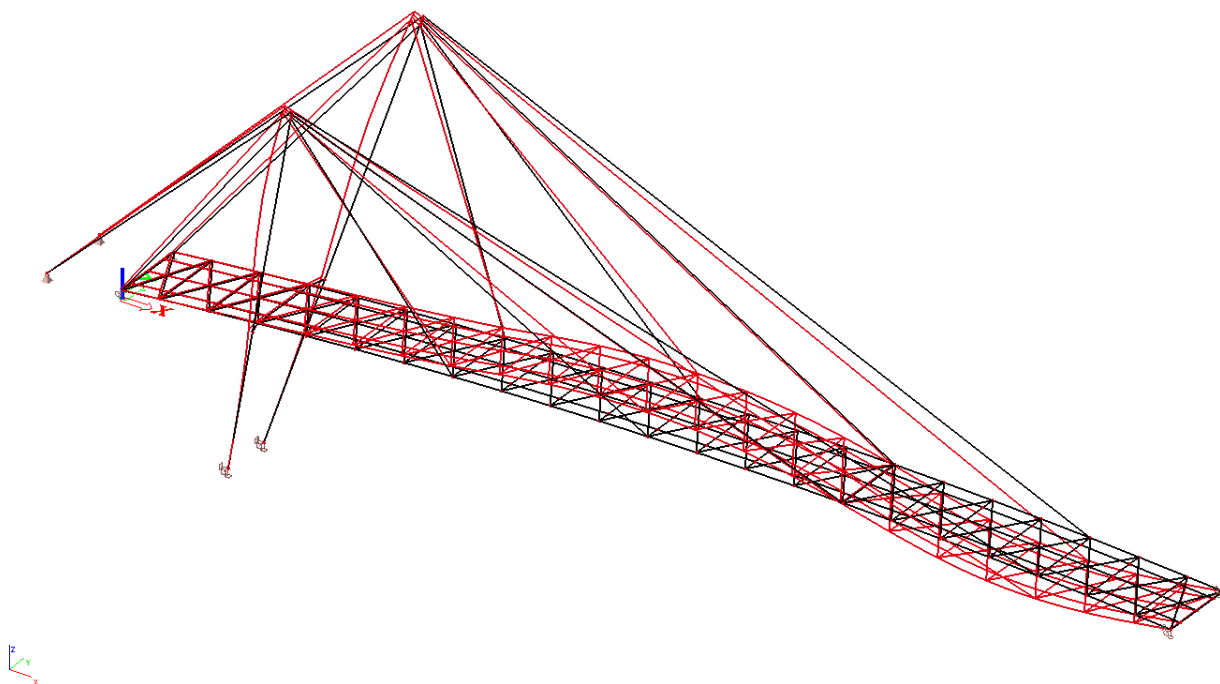
Obr 39. Svislá deformace konstrukce při frekvenci 2,44Hz (výpočtový model)



Obr 40. Svislá deformace konstrukce při frekvenci 3,87Hz (výpočtový model)



Obr 41. Příčná torzní deformace při frekvenci 5,56Hz (výpočtový model)



Obr 42. Svislá deformace konstrukce při frekvenci 8,52Hz (výpočtový model)

	Frekvence (Hz)				
Chůze 1 osoba 1 Hz	1,68	2,42	2,52	5,11	
Sprint 2 osob	1,83	2,83	3,67		
Skok 2 osob	2,5	2,87	5,125	7,5	
Výpočtový model	1,85	2,44	3,87	4,13	5,56
	8,52	8,71	9,63	9,70	11,37

Tabulka 3. Výpis frekvencí

Výsledky z měření a výpočtového modelu se neshodují. Tento rozpor je zřejmě způsobený tím, že lávka nemá finálně dopnutý závěsy a nepůsobí tak staticky stejně jako model vytvořený v programu SCIA Engineer.

## 6. Závěr

Tato práce se zabývala dřevem, jeho vlastnostmi, degradací a také možnostmi jeho ochrany. Dále pak obecně dřevěnými mosty a lávkami, konkrétně pak nově otevřenou dřevěnou zavěšenou lávkou v Příboře. Ve výpočtové části práce byly jednotlivé prvky této lávky staticky posouzeny a byl vytvořen výpočtový model v programu Scia Engineer, který sloužil pro výpočet vnitřních sil, potřebných pro statické zhodnocení, ale také pro výpočet vlastních frekvencí lávky. Tyto frekvence byly následně použity jako srovnání pro hodnoty naměřené během zatěžovací zkoušky.

Vzhledem ke statickému charakteru konstrukce, kdy je to zavěšená lávka, bylo potřebné provést dynamickou zatěžovací zkoušku a ověřit tak chování lávky při vystavení dynamickému zatížení. Lávka však není dokončena. Závěsy nejsou finálně dopnuty a není nastaven tlumič. To vše negativně ovlivnilo výsledky zatěžovací zkoušky a znemožnilo tak dospět ke stejným hodnotám, jaké byly spočteny ve výpočtovém modelu.

Ani výpočtový model však nepracoval očekávaným způsobem a bylo nutné řešit velké množství problémů s ním spojených. Nakonec jsem však dospěla k výsledkům, které odpovídaly očekávaným hodnotám. Tyto výsledky sice přesně neodpovídají naměřeným hodnotám, ale to je zřejmě způsobeno především momentálním stavem lávky.

Téma této práce pro mě bylo velmi zajímavé. Je velmi pravděpodobné, že v budoucnu již nejspíš nebudu mít možnost účastnit se na diagnostice mostů a bylo tak velmi zajímavé vyzkoušet si to a zjistit jak vše funguje.

## Seznam obrázků

- Obr 1. Tamedia Office Building, Zürich, Švýcarsko*
- Obr 2. Mikroskopický tangenciální řez Borovicí lesní*
- Obr 3. Atmosférická degradace- vymývání hnědé hmoty deštěm*
- Obr 4. Koniofora sklepní*
- Obr 5. Plodnice Trámovky plotní*
- Obr 6. Václavka obecná*
- Obr 7. Troudinatec kopitovitý*
- Obr 8. Larva tesaříka krovového*
- Obr 9. Tlaková impregnace dřeva*
- Obr 10. Dřevěný most, Nizozemsko*
- Obr 11. Most vytvořený z kořenu stromů, hlíny a kamenů- Indie*
- Obr 12. Obloukový most, Stožec*
- Obr 13. Visutý most v Indii*
- Obr 14. Dřevěný visutý most, Arkansas*
- Obr 15. Schéma mostů-mono, harfa, ventilátor, hvězda*
- Obr 16. Most přes Korintský záliv (systém ventilátor) , Řecko*
- Obr 17. Lávka Samota*
- Obr. 18. Záznam dendrogramu vedle řezu zkoumaným průřezem*
- Obr 19. Detail radiálního vrtání*
- Obr 20. Ultrazvukové vyšetřování přítomnosti trhlin*
- Obr 21. Provádění dynamické zatěžovací zkoušky*
- Obr 22. Umístění konstrukce*
- Obr 23. Zavěšená dřevěná lávka v Příboře*
- Obr 24. Lepené lamelové dřevo*
- Obr 25. Zatížení mostinami*
- Obr 26. Zatížení zábradlím*
- Obr 27. Zatížení příčným větrem*
- Obr 28. Zatížení svislým větrem*
- Obr 29. Zatížení podélným větrem*
- Obr 30. Zatížení gallopingem*
- Obr 31. Zatížení davem lidí*
- Obr 32. Výpočtový model vytvořený pro statický výpočet*

*Obr 33. Model vytvořený pro modální analýzu konstrukce*

*Obr 34. Dočasně zajištěné ložisko*

*Obr 35. Umístění čidel po délce lávky - v polovině rozpětí při prvním měření, ve třetině rozpětí při druhém měření*

*Obr 36. Příčné umístění čidel na konstrukci mostu*

*Obr 37. Snímače KD41 použité při měření*

*Obr 38. Příčná deformace konstrukce při frekvenci 1,85Hz (výpočtový model)*

*Obr 39. Svislá deformace konstrukce při frekvenci 2,44Hz (výpočtový model)*

*Obr 40. Svislá deformace konstrukce při frekvenci 3,87Hz (výpočtový model)*

*Obr 41. Příčná torzní deformace při frekvenci 5,56Hz (výpočtový model)*

*Obr 42. Svislá deformace konstrukce při frekvenci 8,52Hz (výpočtový model)*

## **Seznam grafů**

*Graf 1. Vlastní frekvence vybuze sprintem dvou osob ve směru na Štramberk, duben 2015*

*Graf 2. Vlastní frekvence vybuze skokem dvou osob v polovině rozpětí mostu, duben 2015*

*Graf 3. Vlastní frekvence vybuze jednou osobou chůzí o frekvenci 1Hz ve směru na Štramberk, duben 2015*

## **Seznam tabulek**

*Tabulka 1. Materiálové charakteristiky- dřevo*

*Tabulka 2. Materiálové charakteristiky- ocel*

*Tabulka3 . Výpis frekvencí*

## **Seznam příloh**

*Příloha č. 1- Předběžná zpráva o zatěžovací zkoušce*

*Příloha č. 2- Grafický záznam měřených veličin*

*Příloha č. 3- Fotodokumentace*

*Příloha č. 4- Video záznam*



## Použitá literatura

- [1] AASHEIM, E. *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5- step 2- navrhování detailů a nosných systémů*. Nová tiskárna Pelhřimov, Pelhřimov, 2004. ISBN 80-86-769-13-5
- [2] ŠTEFKO, Jozef- REINPRECHT, Ladislav- KUKLÍK, Petr. *Dřevěné stavby- konstrukce, ochrana a údržba*. JAGA GROUP, spol. s.r.o., Bratislava, 2009. ISBN 978-80-8076-080-9
- [3] KOLB, Josef. *Dřevostavby- systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Grada Publishing a.s., Praha, 2010. ISBN 978-80-247-4071-3
- [4] LOKAJ, Antonín a spol.. *Handbook 1, Dřevěné konstrukce*. Leonardo da Vinci Pilot Project, Praha, 2008.
- [5] ŠEFCŮ, Ondřej- VINAŘ, Jan- PACÁKOVÁ, Marie. *Metodika ochrany dřeva*. Nakladatelství Jalna, Praha, 2000. ISBN 80-86234-14-2
- [6] ROTTER, Tomáš- KUKLÍK, Petr. *Ocelové a dřevěné konstrukce 11*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000. ISBN 80-01-02265-X
- [7] REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dřeva*. Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, Zvolen, 2008. ISBN 978-80-228-1863-6
- [8] HOLICKÝ, Milan. *Základy hodnocení existujících konstrukcí*. České vysoké učení technické v Praze, Kloknerův ústav, Praha, 2013. ISBN: 978-80-01-05419-2
- ## Použité normy
- [9] ČSN EN 1991-2 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí- Část 2: Zatížení mostů dopravou*
- [10] ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení konstrukcí- Obecná zatížení- Zatížení větrem*
- [11] ČSN EN 1995-1-1 *Změna A1- Navrhování dřevěných konstrukcí- Obecná pravidla- Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
- [12] ČSN EN 1995-2 *Navrhování dřevěných konstrukcí- Mosty*
- [13] ČSN 73 6209+Z1 *Zatěžovací zkoušky mostů*
- [14] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovým editorem*

[15] *FAST\_SME\_10\_007 Směrnice děkana Fakulty stavební Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava č. 7/2015*

### **Použité internetové zdroje**

[16] <http://www.archdaily.com/478633/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects>

[17] [http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/486-tramovka\\_plotni.html](http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/486-tramovka_plotni.html)

[18] [http://fld.czu.cz/~zeidler/atlas\\_drev/indexe31c.html?&popis\[0\]=Borovice%20lesn%ED%20\(Pinus%20sylvestris\)%20-%20Tangenci%20E1ln%ED%20%F8ez%20-%20zv%20ECt%20Aeno%20100x&sekce=zobraz&soubor\[1\]=JEHLICNANY/BOROVICE\\_LES\\_NI/BO-L\\_tg\\_10x.jpg](http://fld.czu.cz/~zeidler/atlas_drev/indexe31c.html?&popis[0]=Borovice%20lesn%ED%20(Pinus%20sylvestris)%20-%20Tangenci%20E1ln%ED%20%F8ez%20-%20zv%20ECt%20Aeno%20100x&sekce=zobraz&soubor[1]=JEHLICNANY/BOROVICE_LES_NI/BO-L_tg_10x.jpg)

[19] [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=9177;lang=cz](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9177;lang=cz)

[20] <http://pockmat.hopto.org/file/VUT%20FAST/2.ročník%20VUT%20FAST/skripta/zkušebníctví%20a%20technologie/opory/MO2-zkušebníctví.pdf>

[21] <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/9615-nove-vyvinuty-pristroj-pro-diagnostiku-zabudovaneho-dreva-ve-stavbach>

[22] <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/9740-nedestruktivni-metody-pri-vysetrovani-dreva-historickych-konstrukci>

[23] <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technickych-pruzkumu-historickych-drevenych-konstrukci>

[24] [http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky\\_tvrlosti.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky_tvrlosti.pdf)

[25] <http://www.dewetron.cz/produkty/mereni-vibraci/>

[26] [https://www.google.cz/search?q=impregnace+dřeva&client=opera&hs=ouu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAcQ\\_AUoAWoVChMIpYbe59vqyAIVQ5MPCh2W-ATl&biw=942&bih=937#imgsrc=CTK4VXxlCPDE8M%3A](https://www.google.cz/search?q=impregnace+dřeva&client=opera&hs=ouu&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAcQ_AUoAWoVChMIpYbe59vqyAIVQ5MPCh2W-ATl&biw=942&bih=937#imgsrc=CTK4VXxlCPDE8M%3A)

[27] [https://www.google.cz/search?q=troudnatec+kopytovitý&client=opera&biw=942&bih=937&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0CAYQ\\_AUoAWoVChMI7OjN49rqyAIVxZ8OCh2mcgni#imgsrc=kFRCiFDuapjqM%3A](https://www.google.cz/search?q=troudnatec+kopytovitý&client=opera&biw=942&bih=937&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI7OjN49rqyAIVxZ8OCh2mcgni#imgsrc=kFRCiFDuapjqM%3A)

[28] <https://www.pinterest.com/pin/462674561692838275/>